

JULIETTE ZANETTI

**INFLUÊNCIA DO NÚMERO E DISTRIBUIÇÃO DE PONTOS DE CONTROLE EM
ORTOFOTOS GERADAS A PARTIR DE UM LEVANTAMENTO POR VANT**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Zanetti, Juliette, 1989-
Z28i Influência do número e distribuição de pontos de
2017 controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento
 por Vant / Juliette Zanetti. - Viçosa, MG, 2017.
 x, 84f. : il. ; 29 cm.

 Orientador : Joel Gripp Júnior.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.
 Inclui bibliografia.

 1. Predador (Drone). 2. Cartografia - Controle de
qualidade. 3. Fotografia aérea em geomorfologia.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Civil. Programa de Pós-graduação em
Engenharia Civil. II. Título.

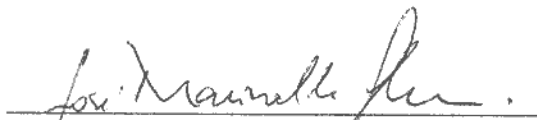
CDD 22 ed. 623.7469

JULIETTE ZANETTI

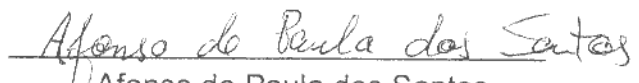
**INFLUÊNCIA DO NÚMERO E DISTRIBUIÇÃO DE PONTOS DE CONTROLE
EM ORTOFOTOS GERADAS A PARTIR DE UM LEVANTAMENTO POR
VANT**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.


Aprovada: 13 de janeiro de 2017.



José Marinaldo Glefiani



Afonso de Paula dos Santos
(Co-orientador)



Joel Gripp Junior
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

À Deus.

A minha família, em especial meus pais José Brás e Ormi, por estarem sempre presente apoiando e incentivando cada passo da minha vida.

Ao meu irmão Juliano pelos conselhos e todo apoio.

Ao Marciel pelo carinho, compreensão e companheirismo.

Aos professores Joel e Afonso pela orientação, atenção, incentivo e amizade durante toda a realização deste trabalho.

Aos amigos, em especial Franciele, Jéssica, Leticia, Daniel, Francisco e Alessandra por compartilharem de momentos de estudos, risadas e desesperos.

À Sarah e o Gabriel por disponibilizarem as fotos VANT para realização deste trabalho.

A todo o departamento, pela excelência no ensino.

A UFV pela estrutura e oportunidade.

A CAPES pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS.....	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo Geral.....	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
3. JUSTIFICATIVA.....	4
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
4.1. História do VANT	5
4.2. Definição do VANT.....	9
4.3. Legislação do VANT no Brasil.....	10
4.4. Geometria das fotografias	12
4.4.1. Orientação fotogramétrica	13
4.4.2. Câmara métrica e câmara não métrica.....	16
4.4.3. Modelo digital do terreno	17
4.4.4. Ortorectificação.....	18
4.5. Cadastro Técnico Multifinalitário	21
4.6. Controle de qualidade de produtos cartográficos	23
4.6.1. Amostragem.....	27
4.6.2. Determinação do padrão de distribuição espacial dos dados pontuais através da estatística K de Ripley	28
4.6.3. Detecção de Outliers.....	30
4.6.4. Estatística inferencial	31
4.6.5. Análise de normalidade na amostra	31
4.6.6. Teste Jarque-Bera.....	33

4.6.7. Análise de tendência na amostra	35
5. MATERIAIS E MÉTODOS	36
5.1. Área de estudo.....	36
5.2. Materiais utilizados.....	37
5.3. Metodologia	38
5.3.1. Aquisição das fotos	40
5.3.2. Planejamento dos pontos de controle.....	40
5.3.3. Avaliação do padrão de distribuição espacial	41
5.3.4. Coleta e processamento dos pontos de controle	41
5.3.5. Processamento das fotos VANT.....	44
5.3.6. Extração das feições lineares de checagem.....	48
5.3.7. Coleta de feições lineares de checagem em campo.....	49
5.3.8. Controle de qualidade posicional em dados espaciais.....	50
5.3.9. Extração de informação geográfica a partir da ortofotos.....	50
5.3.10. Atualizações cadastrais.....	52
6. RESULTADOS E ANÁLISES.....	53
6.1. Análise da distribuição dos pontos de controle.....	53
6.2. Geração das ortofotos.....	55
6.3. Avaliação da qualidade posicional das ortofotos	59
6.4. Extração de informação geográfica a partir da ortofoto	68
6.5. Atualização cadastral na área de estudo.....	72
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Pipa de Batut.	7
Figura 2- CBT BQM-1BR, primeiro VANT brasileiro.....	8
Figura 3- Fotografias aéreas de acordo com a inclinação do sensor.	13
Figura 4- Espaço-imagem e espaço objeto, condições de colinearidade e elementos de orientação exterior.	15
Figura 5- Geração de ortoimagem a partir de pontos de controle e MDE.	20
Figura 6- Método Buffer Duplo.	26
Figura 7- Alguns tipos de amostragens: a) aleatória, b) aleatória estratificada, c) sistemática, d) sistemática não alinhada, e) agrupados, f) por perfis aleatórios retos, g) por pontos equidistantes sobre perfis, h) por meios de comunicação, i) hierárquica ou multicelulares.	27
Figura 8-Gráfico demonstrativo da estatística K de Ripley.....	30
Figura 9- Exemplo de Boxplot.	31
Figura 10- Distribuição Normal.....	32
Figura 11- Classificação segundo a assimetria.	34
Figura 12- Classificação segundo o coeficiente de curtose. A esquerda classificada como Platicúrtica, no meio Mesocúrtica e a direita Leptocúrtica.	34
Figura 13- Localização da área de estudo no município de Viçosa-MG.	37
Figura 14- Fluxograma com atividades da metodologia executada.	39
Figura 15- VANT Echar 20A.....	40
Figura 16- Croqui do recobrimento da área de estudo com a geração de células para a escolha dos pontos de controle.....	41
Figura 17- Exemplos de pontos levantado em campo.	42
Figura 18- Croqui da distribuição dos 5 pontos de controle coletados em campo. ...	45
Figura 19- Croqui da distribuição dos 10 pontos de controle coletados em campo. .	45
Figura 20- Croqui da distribuição dos 15 pontos de controle coletados em campo. .	46
Figura 21- Croqui da distribuição dos 15 pontos de controle coletados em apenas uma das células geradas.	46
Figura 22- Fluxograma do processamento dos dados oriundos do VANT.	47
Figura 23- Croqui das feições lineares extraídas na ortofoto.	49
Figura 24- Croqui das feições lineares coletadas em campo.	50

Figura 25- Problemas encontrados nas ortofotos. Sobreposição (esquerda) e deformação de coberturas (direita).	51
Figura 26- Resultado da análise da Função K de Ripley dos 5 pontos de controle. .	53
Figura 27- Resultado da análise da Função K de Ripley dos 10 pontos de controle.	54
Figura 28- Resultado da análise da Função K de Ripley dos 15 pontos de controle.	54
Figura 29- Resultado da análise da Função K de Ripley dos 15 pontos de controle selecionados em apenas uma região da área de estudo.	55
Figura 30- Ortofoto gerada com 5 pontos de controle.....	56
Figura 31- Ortofoto gerada com 10 pontos de controle.....	57
Figura 32- Ortofoto gerada com 15 pontos de controle.....	58
Figura 33- Ortofoto gerada com 15 pontos de controle selecionados em apenas uma região da área de estudo.	59
Figura 34– Gráfico de discrepâncias em metros (m), obtidos pelo método Buffer Duplo utilizando 5 pontos de controle.....	60
Figura 35– Gráfico de discrepâncias em metros (m), obtidos pelo método Buffer Duplo utilizando 10 pontos de controle.....	60
Figura 36-Gráfico de discrepâncias em metros (m), obtidos pelo método Buffer Duplo utilizando 15 pontos de controle.....	61
Figura 37-Gráfico de discrepâncias em metros (m), obtidos pelo método Buffer Duplo utilizando 15 pontos de controle agrupados.....	61
Figura 38– Croqui da distribuição das discrepâncias dos resultados gerados das ortofotos processadas.	62
Figura 39– Gráfico do Boxplot obtidos dos resultados da ortofoto processada utilizando 5 pontos de controle.....	63
Figura 40– Gráfico do Boxplot obtidos dos resultados da ortofoto processada utilizando 10 pontos de controle.....	63
Figura 41– Gráfico do Boxplot obtidos dos resultados da ortofoto processada utilizando 15 pontos de controle.....	64
Figura 42– Gráfico do Boxplot obtidos dos resultados da ortofoto processada utilizando 15 pontos de controle agrupados.....	64
Figura 43– Gráfico da avaliação do desvio padrão obtido dos resultados das ortofotos processadas.....	66

Figura 44– Gráfico da avaliação do RMS obtido dos resultados das ortofotos processadas.....	66
Figura 45– Mapa da vetorização manual de edificações e estrada presentes na área de estudo.....	69
Figura 46– Vetorização manual de edificações e estrada presentes na área de estudo.	70
Figura 47-Vetorização manual de edificações presentes na área de estudo.	70
Figura 48- Vetorização manual de edificações e estrada presentes na área de estudo.	71
Figura 49- Vetorização manual de edificações e estrada presentes na área de estudo.	71
Figura 50- Imagem do Google Earth do ano 2013 (esquerda) e do ano de 2014 (direita).	72
Figura 51- Imagem da ortofoto do ano 2015 (direita) e a mesma imagem à direita, dando foco na construção.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Evolução dos VANTs no período de 2005 a 2013.	8
Tabela 2- Evolução dos VANTs em diferentes aplicações no período de 2005 a 2013.	8
Tabela 3- Métodos de aquisição de amostras para a criação de modelos digitais de elevação.	18
Tabela 4- Principais distorções geométricas no processo de aquisição de imagens.	19
Tabela 5- Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia posicional utilizando Decreto-Lei aliada a ET-ADGV.	24
Tabela 6– Coordenadas dos 15 pontos de controle distribuídos em toda área de estudo.	43
Tabela 7– Coordenadas dos 15 pontos de controle coletados em uma região específica.	44
Tabela 8– Resultados do teste de normalidade Jarque-Bera para o nível de confiança de 90%.	65
Tabela 9- Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais planimétricas obtidas pelo método de feição linear.	65
Tabela 10- Classificação da acurácia posicional da ortofotos, utilizando métodos de feição linear variando o número e a distribuição de pontos de controle, de acordo com decreto-lei 89.817/ET-CQDG, para a escala 1:1.000.	67
Tabela 11– Resultados da análise de tendência - t Student.	68

RESUMO

ZANETTI, Juliette, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2017. **Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT.** Orientador: Joel Gripp Junior. Coorientador: Afonso de Paula dos Santos.

Os VANTs têm sido amplamente utilizados para vários domínios, que vão desde aplicações militares a civis. Para elaboração de cartografia e análise de fenômenos de pequenas áreas (como desastres ambientais, monitoramento florestal, monitoramento de áreas vulcânicas, monitoramento de obras, dentre outras aplicações), esta técnica apresenta-se como relevante, pois os custos operacionais são baixos. Entretanto, devido estar em fase inicial, seu uso é realizado muitas vezes sem conhecimento sobre a qualidade posicional do mesmo. Para tanto, foi avaliada a acurácia posicional planimétrica de ortofotos geradas com diferentes números e distribuição de pontos de controle para uma área da Universidade Federal de Viçosa, no município de Viçosa-MG. Utilizou-se como padrão de acurácia posicional a ET-CQDG, que é baseada no Decreto-lei nº 89.817, aplicando o método de feição linear do Buffer Duplo. O resultado obtido para as ortofotos geradas a partir de 5, 10 e 15 pontos de controle distribuídos por toda a região, apresentaram classificação Classe B, Classe B e a Classe A na escala 1:1.000, respectivamente. Para ortofoto gerada por 15 pontos de controle, com padrão de distribuição agrupado, obteve-se resultado Classe D na escala 1:1.000, apresentando tendência nas coordenadas.

ABSTRACT

ZANETTI, Juliette, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2017. **Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT.** Adviser: Joel Gripp Junior. Co-adviser: Afonso de Paula dos Santos.

The UAV has been widely used in various fields, ranging from military to civilian applications. To prepare mapping and analysis of phenomena (such as environmental disasters, forest monitoring, monitoring of volcanic areas, monitoring of works, among other applications), this technique is presented as relevant depending on the application, because the operating costs are low. However, due to being in an early stage, their use is often done without knowledge of the quality positional. Therefore, we evaluated the positional accuracy planimetric orthophoto generated with different amounts and distribution of control points to an area of the University Federal of Viçosa, in Viçosa-MG. It was used as the positional accuracy standard the ET-CQDG, which is based on Decree-Law No. 89.817, applying the linear method feature Double Buffer. The result for the orthophoto generated from 5, 10 and 15 control points distributed throughout the region, were classified as Class B, Class B and Class A scale 1: 1.000, respectively. For orthophoto generated 15 control points, with grouped distribution pattern, we obtained results Class D on the scale 1: 1.000, showing trend in coordinates.

1. INTRODUÇÃO

O Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) é um campo de interesse que necessita de constantes atualizações de dados cadastrais devido às mudanças, seja por interferência de fenômenos naturais ou pela ação do homem. Na maioria dos casos, estas mudanças são mais rápidas que o processo de produção/atualização cartográfica. De acordo com o artigo 13, parágrafo 2º, da portaria nº 511 de 07 de dezembro de 2009 do Ministério das Cidades, que trata das Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário nos municípios brasileiros: “Os limites físicos das parcelas podem ser obtidos por métodos topográficos, geodésicos, fotogramétricos e outros que proporcionem precisões compatíveis”.

Nos últimos anos, a comunidade de usuários dos produtos cartográficos do mapeamento sistemático brasileiro tem discutido as opções disponíveis para os processos de atualização cartográfica que minimizem os custos bem como reduzam o tempo de execução do mapeamento. Produtos da fotogrametria são usados em diversos ramos de atividade, como no planejamento físico-territorial urbano e rural, no monitoramento ambiental, na prevenção de riscos e catástrofes, na engenharia de forma geral, em logística, dentre outras aplicações (SATO, 2003). Segundo Pegoraro (2013) a fotogrametria convencional continua sendo a melhor ferramenta para o recobrimento de grandes extensões de mapeamento, no entanto, em se tratando de pequenas áreas, este método não é viável do ponto de vista econômico.

Os recentes avanços na tecnologia, ciência dos materiais, e controle de engenharia tornaram a utilização dos Veículos Aéreo Não Tripulado (VANT) possível, acessível e tem se mostrado muito promissora e atraente pelo seu custo benefício e praticidade. Essas facilidades têm permitido que profissionais com pouca ou nenhuma experiência cartográfica utilizem o VANT para geração de mapas. No entanto, o não conhecimento da acurácia e discrepâncias posicionais presentes em seus produtos acaba trazendo incertezas quanto à qualidade do mapeamento (COLOMINA e MOLINA, 2014).

Estudo realizado por Almeida (2014) discute a qualidade dos produtos gerados de levantamentos aerofotogramétricos usando VANT para mapeamento de pequenas áreas destinadas a projetos viários. Para o desenvolvimento deste estudo foi escolhida uma área de 16,30 hectares, localizada na região do litoral do estado da Paraíba, sendo usado um quadricóptero modelo DJI Phantom Vision 2, adaptado para a realização de mapeamento aéreo. A classificação do levantamento seguindo as especificações técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), se enquadra na escala cartográfica de 1:1.000 classe B, de acordo com a análise do tamanho do pixel no terreno GSD= 6,54cm alcançado.

Já o trabalho Luz et al. (2015) teve como objetivo gerar ortofotos a partir de dados brutos oriundos do SISVANT, a fim de se avaliar a aplicabilidade desta tecnologia com vistas à atualização de dados cartográficos geológicos em uma região rural localizada no município de São Desidério, na mesorregião do extremo Oeste Baiano com uma área de aproximadamente, 3.924.000 m² (3,924 km²). As fotos aéreas foram automaticamente obtidas com uma câmera Sony NEX-3 16Mp, com resolução espacial no terreno de 9 cm. Os testes de acurácia posicional foram realizados para escalas e classes pré-definidas, conforme a ET-ADGV (CONCAR, 2011) aplicados aos produtos digitais. Os resultados demonstraram que a ortofoto é acurada para a escala 1:10.000, Classe D.

Já o estudo realizado por Alves Júnior (2015) foi verificado a acurácia dos ortomosaicos e Modelo Digital de Superfície (MDS) gerados utilizando fotografias aéreas tomadas com um VANT em áreas urbanas e rurais das cidades de Goiânia, Goiás e Edéia, todas no estado de Goiás. A câmara instalada no VANT foi a Canon IXUS 220 HS, com resolução espacial de 12,1 megapixel. Os ortomosaicos gerados com mais de 8 pontos de controle foram classificados como Classe A para a escala de 1/250. Verificou-se, também, que o ortomosaico sem pontos de apoio, oriundo dos aerolevantamentos realizados na cidade de Goiás, foi classificado como Classe A na escala 1/2.500, enquanto o ortomosaico gerado com oito pontos de apoio foi classificado como Classe A na escala de 1/1.125, conforme parâmetros de acurácia posicional estabelecidos pelo Decreto nº 89.817. O ortomosaico e MDS gerados sem pontos de apoio apresentaram tendência planialtimétrica mostrando assim a necessidade de utilizar pontos de apoio para a confecção de ortomosaicos e MDS obtidos com VANT.

Um problema recorrente na geração das ortofotos é a falta de análise efetiva do número e distribuição dos pontos de controle. Neste contexto é importante destacar a influência de tal análise na qualidade posicional dos produtos gerados. Por exemplo, espera-se que um conjunto de pontos de controle com o padrão de distribuição espacial do tipo agrupado possa comprometer a ortofoto gerada. Além da distribuição dos pontos de controle, é de fundamental importância verificar a quantidade dos mesmos. Quanto mais pontos de controle bem distribuídos na região, utilizados no processamento das fotos, espera-se uma melhor qualidade posicional da ortofoto gerada.

Na avaliação da acurácia posicional de produtos cartográficos geralmente são realizadas por meio de técnicas que se baseiam na verificação de feições pontuais homologas do produto avaliado e o dado de referência para uma determinada qualidade. No entanto, existem casos em que o número de pontos não é suficiente, e/ou sua distribuição não é abrangente em toda a extensão geográfica a ser avaliada (SANTOS, 2010). Uma alternativa é a utilização de Feições Lineares, que segundo Mozas e Ariza (2011), em uma base de dados cartográfica, aproximadamente 80% das feições são lineares. A grande maioria das avaliações da acurácia posicional que utilizam elementos lineares se baseia na comparação de duas linhas homólogas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a influência da distribuição e o número de pontos de controle para geração de ortofotos a partir de dados de VANT com foco na atualização cadastral.

2.2. Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, foram considerados os seguintes objetivos específicos:

- Gerar ortofotos a partir de dados de um levantamento por VANT, utilizando diferente número (5, 10 e 15) de pontos de controle distribuídos

por toda a área de estudo e a geração de uma ortofoto com 15 pontos de controle distribuídos de forma agrupada.

- Avaliar a acurácia posicional das ortofotos geradas, utilizando métodos de feições lineares, aplicando o padrão de acurácia posicional definido na ET-CQDG (Especificação Técnica de Controle de Qualidade em Dados Geoespaciais) e no Decreto-lei 89.817.
- Extração de informação geográfica a partir da ortofoto gerada.

3. JUSTIFICATIVA

No Brasil, os índices atuais de mapeamento nas diferentes escalas evidenciam que a carência de cartas topográficas é mais grave para as escalas maiores. Em termos quantitativos tem-se que apenas 14% do território nacional se encontra mapeado na escala de 1:50.000, 75% na escala de 1:100.000, 1% na escala 1:25.000 e 81% na escala 1:250.000, escalas imprescindíveis para projetos econômicos e sociais, além de terem sido realizados nas décadas de 60, 70 e início da década de 80 (CONCAR, 2005).

O Cadastro Territorial Multifinalitário é um campo de interesse que necessita de constantes atualizações, uma vez que a falta dessas atualizações na gestão municipal, estadual e nacional dificulta na organização e tomada de decisões eficazes. Diante das constantes e rápidas alterações do meio físico, seja por interferência de fenômenos naturais ou pela ação do homem faz-se necessário buscar alternativas que permitam a obtenção de bases cartográficas com informações atualizadas, confiáveis e economicamente viáveis, que minimizem os esforços realizados através dos procedimentos convencionais, que são dispendiosos e demorados.

Os VANTs têm sido amplamente usados para vários domínios, que vão desde aplicações militares a civis. Para elaboração de cartografia e análise de alguns fenômenos, fundamentalmente em pequenas áreas esta técnica apresenta-se com potencial, pois os custos operacionais são relativamente mais baixos.

O processo de extração de informações a partir de imagens VANT apresenta-se como uma das alternativas promissoras, e até mesmo uma tendência, capaz de fornecer informações para atualização das bases cartográficas existentes, a um custo

inferior aos métodos tradicionais. Diante disso, é preciso a comprovação de tal potencial. Faz-se necessário, validar as expectativas criadas sobre esta tecnologia em qualquer das áreas de atuação almejadas. Além do que, não se trata apenas de uma plataforma aérea, mas de um conjunto de equipamentos, os quais podem ter respostas diferenciadas dependendo dos ambientes e dos propósitos.

Assim o estudo teve como foco aplicar uma metodologia para que possa auxiliar na atualização cadastral, além de servir como base para outros tipos de pesquisa e aprimorar aquelas em desenvolvimento nesta área de conhecimento, sob o ponto de vista de eficiência, qualidade, rapidez e viabilidade econômica.

4. REVISÃO DE LITERATURA

São descritos a seguir os conceitos empregados para realização do presente trabalho, procurando o esclarecimento das definições aplicadas e que serviram de base para os procedimentos metodológicos aplicados.

4.1. História do VANT

O histórico dos VANTs está bastante associado a operações militares. Alguns arquivos relatam que em 22 de agosto de 1849, os austríacos teriam lançado cerca de 200 balões não tripulados carregados com bombas temporizadas, contra a cidade de Veneza na Itália. Alguns dos balões explodiram como planejado, outros tiveram seu percurso desviado devido à força do vento (RPAV, 2003).

Em 23 de outubro de 1858, o fotógrafo retratista parisiense aeronauta Gaspard Felix Tournachon, mais conhecido pelo apelido Nadar, patenteou aquilo que chamamos hoje de levantamento aéreo – o mapeamento da superfície a partir de uma série de fotografias aéreas sobrepostas. Ainda no referido mês, ele subiu num balão cativo sobre a cidade de Paris. Nadar teve algumas dificuldades para registrar a fotografia, pois o gás que escapava da boca do balão tirava a sensibilidade da emulsão úmida da placa de vidro, mas finalmente ele teve êxito com uma fotografia sobre o Val de Bievre nos arredores de Paris. Ele expôs a placa fotográfica subindo num balão cativo até uma altura de 80m; em seguida foi rapidamente puxado de volta

para o solo. Essa fotografia foi perdida; no entanto, Nadar descreveu seu conteúdo (JENSEN, 2009):

Estou revelando a minha foto... Boa sorte! Tem algo nela!... Ninguém pode negar: bem aqui abaixo de mim estão três casas da pequena vila: a fazenda, a estalagem e a delegacia de polícia.... Você pode distinguir perfeitamente um veículo de entregas parado na estrada, e sobre o telhado tem dois pombos que tinha acabado de pousar. Então eu estava certo! (Le Monde Illustre, 30 de outubro de 1858).

Em fevereiro de 1863, Charles Perley na cidade de Nova York recebeu uma patente para um bombardeiro aéreo não tripulado. Seu projeto foi um balão de ar quente que carregava uma cesta contendo um mecanismo temporizado. O temporizador iria acionar um martelo que tiraria o pino de uma dobradiça, abrindo a cesta articulada na parte inferior para que a bomba pudesse cair (RPAV, 2013).

Douglas Archibald, no ano de 1883 instalou um anemômetro a um fio em papagaio de papel, para medir a velocidade do vento em altitudes diferentes. Em 1888 utilizando o mesmo artefato, o francês Arthur Batut instalou uma câmara fotográfica, obtendo a primeira aerofotografia por VANT que se tem registro (LONGHITANO, 2010).

Na Califórnia, a devastação de San Francisco após o terremoto em 18 de abril de 1906 foi registrada através de fotografia aérea, por George R. Lawrence usando uma câmera acoplada a um conjunto de 17 pipas de uma só vez, a qual foi denominada de Aeronave Cativa (LONGHITANO, 2010).



Figura 1- Pipa de Batut.

Fonte: www.papainternational.org/history.html.

O início da década de 1970 foi considerado a era moderna dos VANTs. Designers nos Estado Unidos e Israel começaram a experimentar VANTs menores, mais lentos e baratos do que os seus precursores. Seu principal recurso era a utilização de câmeras pequenas que poderiam enviar fotos em tempo real (NASA, 2006). Outro marco importante na história da utilização do VANT foi em 1982, durante a Guerra do Líbano no Vale do Bekaa, quando Israel conseguiu destruir 16 das 17 baterias antiaéreas Sírias, depois de fazer o reconhecimento do local com um alvo aéreo não tripulado. Também ficou conhecida a utilização do veículo americano Predator em 2002, durante a guerra do Afeganistão. Este foi considerado o primeiro emprego real de um veículo não tripulado com o lançamento de míssil (MEDEIROS, 2007). O avanço na utilização de VANTs por forças militares foi crescente, devido a inúmeras características que fazem da utilização de um veículo aéreo não tripulada vantajosa. A ideia de voar sem ninguém a bordo, por exemplo, tinha uma vantagem óbvia, que era a eliminação do risco à vida dos pilotos. De acordo com as Tabelas 1 e 2, nota-se uma evolução dos VANTs e sua crescente utilização em diferentes aplicações, no decorrer dos anos de 2005 a 2013.

Tabela 1- Evolução dos VANTs no período de 2005 a 2013.

Evolução dos VANTs	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Número total de VANTs	544	603	789	974	1190	1244	1424	1581	1708
Número de produtores/desenvolvedores	207	252	312	369	422	500	511	478	540
Número de países produtores	43	42	48	48	50	51	51	51	53

Fonte: Adaptado de Colomina & Molina (2014).

Tabela 2- Evolução dos VANTs em diferentes aplicações no período de 2005 a 2013.

Aplicação dos VANTs	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Civil/Comercial	55	47	61	115	150	171	175	217	247
Militar	397	413	491	578	683	631	674	548	564
Pesquisa	35	31	46	54	66	66	69	73	78

Fonte: Adaptado de Colomina & Molina (2014).

No Brasil o primeiro VANT foi CTB BQM-1BR da extinta Companhia Brasileira de Tratores (CBT) (Figura 2). O aeromodelo encontra-se exposto no museu “Asas de um Sonho” da empresa aérea TAM. O mesmo foi desenvolvido em 1982, com propulsão a jato, sendo capaz de atingir uma velocidade de até 560 km/h. Pesando 92 kg, foi construído em estrutura metálica, com uma envergadura de 3,18 m, charuto de 3,89 m e diâmetro de 28 cm, autonomia de voo estimada em 45 minutos, podendo chegar a 6.500 m (ALVES JÚNIOR, 2015).



Figura 2- CBT BQM-1BR, primeiro VANT brasileiro.

Fonte: <http://www.ecsbdefesa.com.br/defesa/fts/BQM1BR.pdf>.

4.2. Definição do VANT

De acordo com o Departamento Norte Americano (DOD, 2005):

Veículo aéreo motorizado que não transportam operador humano, utilizam forças aerodinâmicas para se elevar, podem voar de forma autônoma ou ser pilotado remotamente, podem ser dispensáveis ou recuperáveis, e podem transportar carga bélicas ou não bélicas. Veículos balísticos ou não balísticos como mísseis de cruzeiro e projéteis de artilharia não são considerados veículos aéreos não tripulados (DOD, 2005).

Para Einsebeiss (2009), os VANTs são veículos aéreos não tripulados, motorizados e reutilizáveis que podem voar autonomamente, semi-autonomamente ou manualmente, conduzidos por um piloto, usando um controle remoto. Comparando os VANTs com uma aeronave tripulada, a principal diferença é que nos VANTs o piloto não está presente fisicamente na aeronave.

Bhardwaj et al. (2016) define os VANTs como um sistema composto por um segmento terrestre que controla remotamente o voo e por um segmento aéreo que consiste em um veículo aéreo não tripulado com sensores remotos para captura de dados de alta resolução do terreno, permitindo ainda a possibilidade de aplicações fotogramétricas dos dados adquiridos.

O termo VANT é uma abreviação de Veículo Aéreo Não Tripulado, nomenclatura em português correspondente à terminologia em inglês UAV - Unmanned Aerial Vehicle, adotada pelo Departamento de Defesa Norte Americano (Department of Defense – DOD). Outras expressões podem ser encontradas na literatura, como Remotely Operated Aircraft – ROA (Aeronave Operada Remotamente), Remote Piloted Device – RPV (Veículo Pilotado Remotamente), Airborne Remotely Operated Device – AROD (Dispositivo Aéreo Remotamente Operado).

Nota-se que na bibliografia internacional adota-se a terminologia UAV. No Brasil, o termo VANT vem sendo o mais difundido e utilizado. Outra terminologia muito usada é “Drone” (em português: zangão, zumbido), termo informal e genérico para se referir a todo e qualquer objeto voador não tripulado, ou seja, que não tem amparo técnico ou legislativo. O termo VANT por outro lado, tem respaldo na legislação brasileira, que segundo a Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC (2012) é definido da seguinte forma:

VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado): Aeronave projetada para operar sem piloto a bordo e que não seja utilizada para fins meramente recreativos. Nesta

definição, incluem-se todos os aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos, excluindo-se, portanto, os balões tradicionais e os aeromodelos (ANAC, 2012).

De acordo com a ANAC, o VANT é um tipo de aeromodelo, porém utilizado para outros fins. O aeromodelo difere do VANT pois tem como objetivo práticas de atividades recreativas ou de competição.

4.3. Legislação do VANT no Brasil

O Brasil ainda não possui uma legislação oficial para o uso de VANT. O assunto encontra-se em análise pela Seção de Planejamento de Operações Militares do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e pela Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO, na sigla em inglês) – agência ligada à Organização das Nações Unidas (ONU) que estabelece princípios de navegação aérea internacional.

Até dezembro de 2015, a regulamentação se dava por meio de três legislações oficialmente emitidas que versam especificamente sobre a utilização do VANT. A primeira é a AIC Nº 21/10, uma Circular de Informação Aeronáutica emitida pelo Comando da Aeronáutica, em 2010, e que estabelece alguns procedimentos para a operação de VANT em geral. A segunda é a Decisão Nº 127, da ANAC, expedida em 2011, onde fornece diretrizes com a finalidade de autorizar a operação aérea de Aeronave Remotamente Pilotada do Departamento de Polícia Federal. E a terceira e última, é a Instrução Suplementar Nº 21-002, Revisão A, também da ANAC, expedida em outubro de 2012, e que orienta a aplicação da seção 21.191 do RBAC-21 (Regulamento Brasileiro de Aviação Civil) para emissão de CAVE (Certificado de Autorização para Voo Experimental) para VANT de uso experimental (pesquisa e desenvolvimento, treinamento de tripulações e pesquisa de mercado) (ANAC, 2012).

Atualmente, a regulamentação (em estudo na ANAC) para a operação de tais equipamentos é dada pela Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40/2015. Esse documento visa esclarecer os procedimentos necessários para realização dos voos de VANT (DECEA, 2015a). Segundo a ANAC (2015a), sua proposta tem o objetivo de viabilizar as operações dos VANT não autônomos (também considerado como Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas - RPAS), garantindo que haja

segurança para as pessoas. Para tal, as regras que serão estabelecidas estão de acordo com o nível de complexidade e o risco envolvido nas operações.

Quando for publicado o Regulamento Brasileiro da Aviação Especial nº 94 (RBAC-E nº 94), intitulado nos “Requisitos gerais para veículos aéreos não tripulados e aeromodelos”, proposta de regulamentação da ANAC, este será imposto aos usuários de VANT com a seguinte classificação e regras (LINHARES, 2016):

- VANT Classe 1 (peso maior que 150 kg) – necessita de certificação pela ANAC; do registro no RAB (Registro Aeronáutico Brasileiro); pilotos necessitam de CMA (Certificado Médico Aeronáutico), licença e habilitação; e os voos necessitam de autorização e registro;
- VANT Classe 2 (maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg) – não há necessidade de certificação pela ANAC; no entanto, o fabricante precisa observar os requisitos técnicos exigidos e ter o projeto aprovado pela agência registro no RAB (Registro Aeronáutico Brasileiro); pilotos necessitam de CMA (Certificado Médico Aeronáutico), licença e habilitação; e os voos necessitam de autorização e registro;
- VANT Classe 3 (peso menor ou igual a 25 kg) – só podem voar até 400 pés (aproximadamente 120 m) do nível do solo, salvo se requerida licença para tal; em áreas urbanas ou aglomerados rurais, a distância máxima passa a ser de somente 200 pés (aproximadamente 60 m); necessitam apenas de cadastros (informações sobre o operador e o equipamento) junto a ANAC; não precisa de CMA ou registro para os voos; tem de ser operados com pelo menos 30 m de distância de uma pessoa (salvo pessoas que concordem expressamente com a operação e/ou estão participando da mesma).

Em se tratando de regras gerais, válidas para todas as categorias de VANT, tem-se que:

- Idade mínima para uso (18 anos);
- Necessidade de um seguro para danos a terceiros;
- Atividades ilícitas ou ainda de invasão de privacidade serão tratadas pelas autoridades de segurança pública competentes;

- Defesa Civil e órgão de segurança pública podem utilizar tais equipamentos em quaisquer áreas, ficando eventuais ocorrências sobre suas responsabilidades, desde que sejam observadas as demais exigências, por exceção do seguro para danos a terceiros.

A proposta da ANAC envolve ainda algumas regras a respeito dos aeromodelos, que não são considerados como VANT. Os aeromodelos são destinados para atividades de lazer; além do que, não necessitam de autorização da ANAC, e não possuem idade mínima para operação. A única regra que deve ser respeitada é não operar tais equipamentos em uma distância menor que 30 m de uma pessoa, a menos que haja anuência da mesma. Regra também aplicada a utilização do VANT (LINHARES, 2016).

4.4. Geometria das fotografias

Wolf e Dewitt (2004) define o termo fotogrametria como a arte, ciências e tecnologia de se obter informações confiáveis sobre objetos e o ambiente, através dos processos de gravação, medição e interpretação de fotografias, imagens e outros elementos.

A fotogrametria pode ser dividida em fotogrametria terrestre e fotogrametria aérea dependendo da plataforma em que sem encontram. Na fotogrametria terrestre, as fotografias são obtidas a partir de estações fixas sobre a superfície do terreno no solo, com o eixo ótico da câmara na horizontal. Já na fotogrametria aérea é classificada de acordo com a inclinação do eixo ótico em relação ao terreno, a Figura 3 ilustra os diferentes casos. Segundo Wolf e Dewitt (2004) uma fotografia é considerada vertical quando o eixo focal estiver orientado perpendicularmente ao horizonte com um ângulo de inclinação de no máximo 3° (perpendicular) à superfície da terra. Uma fotografia oblíqua é aquela onde o eixo óptico da câmara se encontra inclinado em relação ao horizonte. Se a inclinação do eixo permitir mostrar o horizonte, então é chamada de alta oblíqua, se o horizonte não for visível, então são denominadas baixas oblíquas.

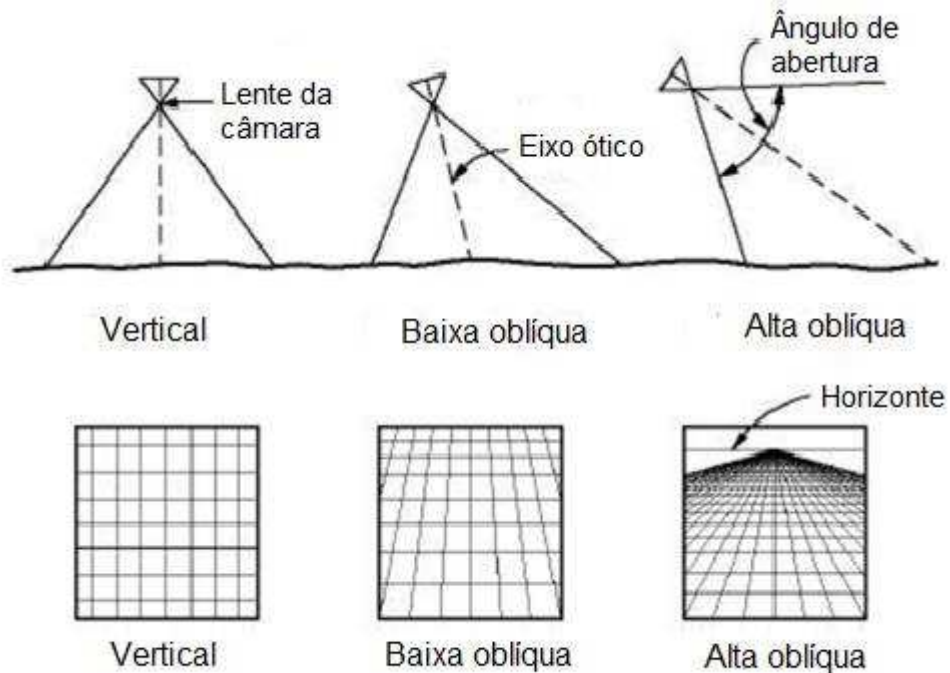


Figura 3- Fotografias aéreas de acordo com a inclinação do sensor.
 Fonte: Adaptado de Wolf e Dewitt (2004).

A aquisição de imagens aéreas ainda é muito onerosa devido aos custos dos equipamentos e aos custos de operação, que são elevados. Para realizar o levantamento fotogramétrico de uma área, normalmente as imagens são capturadas ao longo de linhas de voo. O recobrimento na linha de voo é obtido de forma que haja superposição longitudinal (ao longo da faixa de voo) que geralmente é da ordem de 60%. De maneira semelhante, entre faixas de fotos existe uma superposição lateral (transversalmente à direção de voo) que é da ordem de 30%, permitindo assim a composição de pares estereoscópicos (FERREIRA, 2014). Já o recobrimento das imagens obtidas por um levantamento por VANT é maior que na fotogrametria convencional de aproximadamente 70-80% longitudinal e lateral (SILVA et al., 2014).

4.4.1. Orientação fotogramétrica

Para que seja possível realizar medições de objetos através da fotogrametria são necessários dois tipos de orientação para as fotografias: orientação interior e orientação exterior. A estimativa correta destes parâmetros é fundamental para a obtenção de ortofotos e modelos digitais de elevação com qualidade cartográfica.

O processo de orientação interior consiste na recuperação da posição da fotografia em relação à câmara, reconstruindo o feixe perspectivo que gerou as fotografias (ANDRADE, 1998). Segundo Lopes (2015), os parâmetros que definem esta relação são considerados de elementos de orientação interna e englobam:

- A distância focal da câmara.
- A posição do ponto principal relativamente às marcas fiduciais.
- Parâmetros de distorção do sistema de lentes fotográfico.

Os parâmetros de orientação exterior são os elementos que definem a posição e a orientação da câmara segundo um referencial terrestre. Uma fotografia está orientada exteriormente, quando são conhecidas as três coordenadas tridimensionais (X_{CP}, Y_{CP}, Z_{CP}) do ponto de onde foi tomada a foto (centro de perspectiva) e três rotações ou ângulos de Euler, representados pelas letras gregas ω (ômega), φ (phi) κ (Kappa) (COELHO & BRITO, 2007). Esses elementos estão representados na Figura 4. Segundo Jensen (2009) a orientação exterior determina a relação matemática entre coordenadas da imagem e dos pontos de controle coletados no terreno. Após a realização da orientação interior e exterior, a informação pode ser usada para executar a aerotriangulação.

A aerotriangulação consiste na técnica fotogramétrica, pelo qual as coordenadas do terreno podem ser determinadas com base nas coordenadas medidas em fotografias. A aerotriangulação utiliza um ajuste geral por método dos mínimos quadrados com injunção de pesos para orientar adequadamente as imagens. Este ajuste é baseado no uso de equação de colinearidade (JENSEN, 2009).

De acordo com Lima et al. (2010) a equação de colinearidade é um modelo matemático bastante usado nos processos fotogramétricos, pelo qual associa as informações das fotografias e do objeto. Consistem em um modelo que une por uma reta, o ponto no espaço objeto, o ponto na imagem e o centro perspectivo, sendo possível formar a imagem. O modelo de colinearidade relaciona o ponto medido na imagem com o ponto no espaço objeto de acordo com as equações (1) e (2).

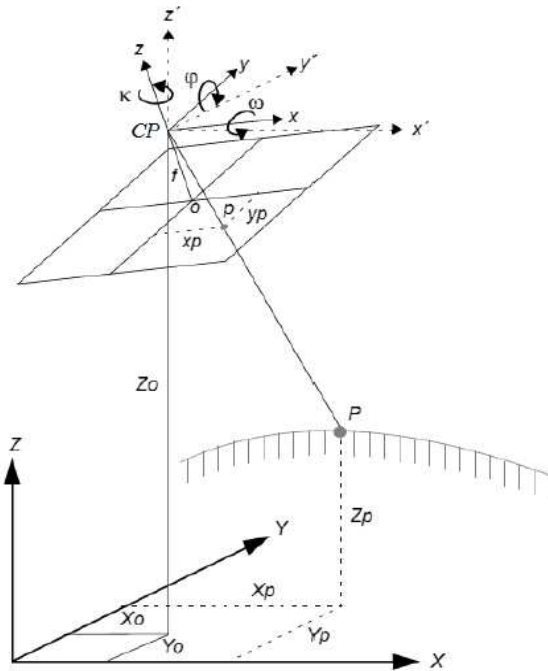


Figura 4- Espaço-imagem e espaço objeto, condições de colinearidade e elementos de orientação exterior.

Fonte: Adaptado de Wolf e Dewitt (2004).

$$x_p = -f \frac{r_{11} \cdot (X_P - X_{CP}) + r_{12} \cdot (Y_P - Y_{CP}) + r_{13} \cdot (Z_P - Z_{CP})}{r_{31} \cdot (X_P - X_{CP}) + r_{32} \cdot (Y_P - Y_{CP}) + r_{33} \cdot (Z_P - Z_{CP})} \quad (1)$$

$$y_p = -f \frac{r_{23} \cdot (X_P - X_{CP}) + r_{22} \cdot (Y_P - Y_{CP}) + r_{23} \cdot (Z_P - Z_{CP})}{r_{31} \cdot (X_P - X_{CP}) + r_{32} \cdot (Y_P - Y_{CP}) + r_{33} \cdot (Z_P - Z_{CP})} \quad (2)$$

Sendo:

f : Distância focal.

x_p e y_p : Coordenadas do ponto p medidas no sistema fotogramétrico.

X_P, Y_P e Z_P : Coordenadas do ponto P medidas no sistema de referência do espaço objeto.

X_{CP}, Y_{CP}, Z_{CP} : Coordenadas do centro perspectivo (O) medidas no sistema de referência do espaço objeto.

$r_{11}, r_{12}, r_{13}, r_{21}, r_{22}, r_{23}, r_{31}, r_{32}, r_{33}$: Elementos da matriz de rotação formados pelos ângulos de Euler.

4.4.2. Câmara métrica e câmara não métrica

As câmaras usadas em fotogrametria são classificadas em métricas e não métricas. Segundo Palermo e Leite (2013) a característica geométrica é a principal diferença entre as câmaras. As câmaras métricas possuem sistema de lente de alta qualidade geométrica, dispositivo de “planura” do filme e marcas fiduciais. As câmaras não métricas são evidentemente muito mais simples, caracterizam-se por não apresentarem “exatidão geométrica”, nem dispositivos que garantem a obtenção de uma imagem geometricamente fidedigna. Porém atualmente com as técnicas de calibração, as câmaras não métricas vêm apresentando qualidade geométrica e posicional. A sua grande disponibilidade, peso das câmaras serem leves e baratos são vantagens desse tipo de câmaras.

Existem vários métodos de calibração de câmaras. Os métodos de laboratório são mais usados pelos fabricantes de câmaras e utiliza-se de materiais específicos (ANDRADE, 1998). Além da calibração em laboratório, também são utilizados métodos em campo, onde a calibração é realizada em condições bem próximas àquelas do funcionamento da câmara, tendo por base a modelagem matemática com aproximação da realidade física. Se houver indícios de que as relações dimensionais das lentes, marcas fiduciais e o plano do filme sofreram algum distúrbio, a câmara deverá ser recalibrada.

Segundo Sato (2003) a qualidade geométrica de obtenção de imagem aéreas é aumentada quando a câmara é dotada de dispositivos de compensação dos ângulos de orientação (ω , φ , κ). Atualmente, os sistemas das câmaras aéreas são compostos por um sistema de posicionamento por satélites e o sistema de medição inercial (Inertial Measurement Unit – IMU) que permitem o registro automático das coordenadas do centro da foto, inclusive dos dados de rotação da aeronave, aumentando significativamente a produtividade, reduzindo a densidade de pontos de controle bem como as tarefas de ajustamento da aerotriangulação.

4.4.3. Modelo digital do terreno

Dentre as definições da representação de uma área da superfície terrestre, existem algumas nomenclaturas utilizadas com o intuito de distinguir as informações contidas na superfície. Dentre elas podem ser citadas o Modelo Digital de Terreno (MDT), Modelo Numérico de Terreno (MNT), Modelo Digital de Elevação (MDE) e o Modelo Digital de Superfície (MDS).

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real, utilizado para modelagem do relevo e outros tipos de informações que variam de acordo com ele. Por exemplo a representação topográfica, batimétrica, representação de temperatura, dentre outros (ZANARDI, 2006). Para Felgueiras (1997), um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é a representação quando se utiliza uma variável “z” de uma dada área da superfície terrestre; essa variável pode ser de qualquer natureza, tanto física quanto socioeconômica, como por exemplo nível de poluição atmosférica e densidade populacional.

De acordo com Gripp Jr. (2009), um Modelo Digital de Elevação (MDE) é a representação da superfície da Terra, no modo digital, cuja característica principal é descrever a morfologia de uma área qualquer de forma contínua visando representar a altimetria sem a cobertura vegetal e/ou edificações. Já um Modelo Digital de Superfície (MDS), segundo Cruz et al. (2011) representa a superfície do terreno acrescida de quaisquer objetos como árvores e construções onde o topo desses objetos será representado como a superfície do terreno.

O processo de geração de um modelo digital de elevação envolve etapas como (FELGUEIRAS, 1998):

- Aquisição dos dados representativos do fenômeno em análise (amostragem);
- Modelagem, que envolve a elaboração de um modelo matemático a partir da criação de estruturas de dados e de funções de interpolação, resultando na definição de superfícies de ajuste com uma representação contínua do fenômeno em análise, a partir da amostragem considerada;
- Utilização do modelo gerado, em substituição à superfície real, com o emprego de diferentes procedimentos de análise.

A aquisição dos dados de amostragem pode ser obtida no terreno através de topografia clássica, posicionamento por satélites, fotogrametria entre outros. Segundo Felicísimo (1994), existem diferentes métodos para a obtenção de dados amostrais para a criação de modelos digitais. Basicamente os métodos são classificados em diretos e indiretos (Tabela 3), de acordo com a forma de aquisição das amostras.

Tabela 3- Métodos de aquisição de amostras para a criação de modelos digitais de elevação.

Diretos	GPS	Global Positioning System, sistema de localização por satélites.
	Topografia	Uso de estação total e níveis.
Indiretos	Restituição	Digital: imagens estereoscópicas orbitais ou de sistemas aerotransportados.
		Analógica: pares de fotografias estereoscópicas analógicas.
	Digitalização	Manual: mediante mesas digitalizadoras. Automática: com uso de scanners.

Fonte: Adaptado de Felicísimo (1994).

Na etapa de modelagem, os modelos mais comumente utilizados são os de grade regular retangular e os de grade irregular triangular (também denominados TIN –Triangulated Irregular Network). A representação da superfície em grades retangulares é mais adequada para superfície suave e de variação enquanto a grade irregular é mais adequada em áreas com relevo mais acidentado (COELHO & BRITO, 2007).

A distribuição, a densidade e acurácia dos pontos de referências, bem como a escolha dos métodos de modelagem são fatores primordiais para gerar um modelo mais confiável (ANDRADE, 1988). São inúmeras as aplicações do modelo digital na área de informações espaciais. Para o presente trabalho destaca-se a utilização do MDS no processo de ortorretificação de imagens.

4.4.4. Ortorretificação

Com o avanço tecnológico e com o advento da fotogrametria digital, observou-se a possibilidade da utilização de fotografias para geração direta de mapas topográficos, quando essas são devidamente tratadas (ortorretificadas). De acordo com Lima et al. (2010) as fotografias originais, não podem substituir mapas topográficos de maneira ideal, devido representar uma realidade de projeção cônica

central, enquanto que o mapa topográfico é gerado em projeção ortogonal à superfície mapeada.

Gripp Jr. (2009) define correção geométrica como sendo a correção das distorções da imagem, o termo georreferenciamento quando é atribuído algum sistema de coordenadas à imagem e trata o conceito de ortorretificação relacionado às correções geométricas do sensor, assim como os efeitos do relevo na imagem. De acordo com a Tabela 4, verificam-se principais distorções geométricas no processo de aquisição de imagens.

Tabela 4- Principais distorções geométricas no processo de aquisição de imagens.

Categoria	Subcategoria	Descrição da fonte de erros
Observador/Sistema de Aquisição	Plataforma	Variação do movimento
		Variação da Altitude da plataforma
	Sensor	Variação mecânica do sensor
		Ângulo de visada
	Instrumento de Medição	IFOV/EIFOV
Observado	Atmosfera	Variação na medida do tempo
	Terra	Refração e Turbulência
		Efeitos de curvatura, rotação e relevo
	Mapa ou Carta	Superfície física da terra para elipsóide e do elipsóide para o plano cartográfico

Fonte: Adaptado de Toutin (2004).

O princípio básico de produção de ortofotos digitais consiste no processo de transformação da projeção central na imagem em projeção ortogonal ao plano, desta forma, as feições nela contidas são apresentadas em suas verdadeiras posições. Tal tarefa exige o conhecimento de inclinação, posição e distorção da câmara aérea no instante da tomada das fotografias além de informações do terreno obtidas através de um modelo digital (ANDRADE, 1998).

O processo de ortorretificação, que transforma a visada cônica do sensor em imagens com perspectiva ortogonal e escala uniforme corrigida do deslocamento devido ao relevo e à inclinação da câmara, pode originar produtos utilizáveis cartograficamente, permitindo medições confiáveis de ângulos e distâncias (HU et al., 2004).

Segundo Gripp Jr. (2009) uma imagem se encontrara ortorretificada, se forem realizadas as correções relacionadas ao relevo, e os elementos que são visualizados

sobre esta imagem encontrarem segundo linhas de visadas perpendiculares ao plano da mesma. Segundo esse autor, no processo de ortorretificação primeiramente é realizado um ajustamento de observações a partir das coordenadas da imagem e das coordenadas dos pontos de controle terrestre. Após a realização do ajustamento de observações, onde são obtidos os parâmetros de transformações, passa-se para a próxima etapa, onde cada pixel é extraído do MDE á correspondente altitude, e efetuado o cálculo matemático da posição corrigida do pixel, como ilustrado na Figura 5. Em seguida procede-se uma interpolação para os valores de cinza dos pixels fazendo uso de algum método de reamostragem, gerando a matriz da ortoimagem.

De acordo com PCI Geomatics (2010), a qualidade da ortorretificação depende diretamente da quantidade e distribuição dos pontos de controle, assim como do modelo matemático escolhido.

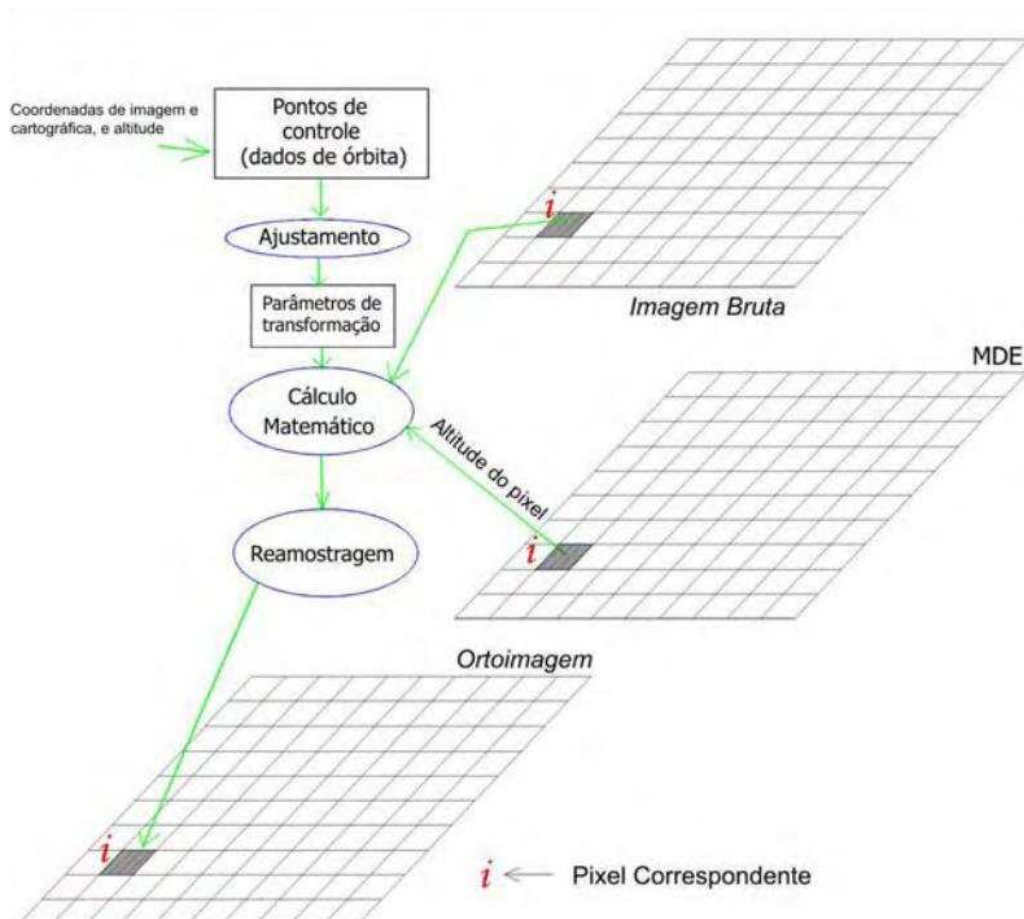


Figura 5- Geração de ortoimagem a partir de pontos de controle e MDE.
Fonte: Gripp Jr. (2009).

Segundo Pereira e Tamamaru (2013) no processamento de imagens VANT utiliza-se de técnicas automáticas implementadas em softwares baseados em

algoritmos SfM (Structure from Motion Procedures, da sigla em inglês) que possibilitam a segmentação de pontos chave em imagens tomadas pelas câmeras, em angulações distintas. Tais pontos são então representados nos planos X, Y e Z. Posteriormente são gerados automaticamente o mosaico georreferenciado e ortorretificado.

A principal diferença em relação à fotogrametria convencional consiste na capacidade de resolver automaticamente a geometria da cena, os parâmetros da orientação interior (OI) e orientação exterior (OE) das imagens. Estes são resolvidas simultaneamente através de um procedimento iterativo altamente redundante de ajuste fundamentado em uma base de dados extraída automaticamente de um conjunto de imagens sobrepostas. Este método apresenta melhor funcionamento em um conjunto de imagens com grandes áreas de sobreposição (WESTOBY et al. 2012).

Segundo Viana (2015) o algoritmo SfM refere-se ao processo de obtenção de uma cena tridimensional a partir de uma série de imagens adquiridas por um sensor. O primeiro passo para a resolução da cena tridimensional refere-se ao rastreamento de pontos notáveis entre as fotos inseridas no processamento. Uma vez rastreado estes pontos, suas coordenadas são computadas e estes passam a integrar a chamada nuvem esparsa, que nada mais é do que a distribuição espacial dos pontos identificados pelo sistema no conjunto das fotos fornecidas. A partir daí são inseridos os pontos de controle para a geração de uma segunda nuvem de pontos (nuvem densa). A partir da nuvem densa o sistema é então capaz de gerar uma superfície (malha ou mesh).

Segundo Patias (2001), mesh é definido como um conjunto de faces triangulares ou quadriláteras unidas por arestas representando as elevações da superfície. No caso de malhas triangulares, chamadas de TIN (Triangular Irregular Network) é obtido o Modelo Digital de superfície (MDS). Com o MDS é então gerada a ortofoto da área em estudo.

4.5. Cadastro Técnico Multifinalitário

O Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) pode ser entendido como um sistema de banco de dados espaciais que representam a estrutura urbana, constituído por uma componente geométrica e outra descritiva que lhe conferem agilidade e diversidade

no fornecimento de dados para atender diferentes funções, inclusive a de planejamento urbano (BLACHUT et al., 1974).

De acordo com Antunes (2007), um sistema cadastral atualizado possibilita desenvolver um Cadastro Técnico Multifinalitário como ferramenta de apoio à gestão pública municipal, permitindo analisar as potencialidades do município para um desenvolvimento sustentável, possibilitando assim uma melhor gestão dos recursos e desenvolvimento dos diversos processos econômicos, jurídicos e técnicos envolvidos na dinâmica das cidades. Loch (1998) complementa afirmando que, o Cadastro Técnico Multifinalitário é uma área de pesquisa interdisciplinar, que envolve conhecimentos desde as medidas cartográficas até o nível do imóvel, a legislação que rege a ocupação do solo, bem como uma avaliação rigorosa da melhor forma de ocupação deste espaço para se obter o desenvolvimento da área.

A principal característica de um Cadastro Técnico Multifinalitário é o suporte para o conhecimento do território, através da informatização de um banco de dados públicos com informações confiáveis sobre as propriedades municipais. A cartografia associada ao banco de dados é fundamental para o registro oficial das informações que definem a realidade da propriedade, formando assim o cadastro técnico.

“Com isso pode-se afirmar que o cadastro técnico urbano é composto por duas partes, a primeira são os produtos cartográficos e a segunda é o banco de dados. A cartografia deve ser composta por mapas de escala grande, 1:1.000, 1:2.000 até 1:5.000, visto que a unidade cadastral e o lote ou ainda a parcela urbana. O banco de dados deve ter registrado diversas informações referentes ao lote ou parcela, estas informações devem ser vinculadas ao lote por meio de um código único. Este código servirá também para relacionar a representação gráfica do lote (na base cartográfica) as informações armazenadas no banco de dados. Vale a pena ressaltar que o lote ou parcela define-se como uma área delimitada (fisicamente ou não) a qual são impostas restrições, direitos e responsabilidades ao proprietário (ERBA, 2005).”

Para Gripp Júnior et al. (2002), o Cadastro Técnico Multifinalitário de cidades de pequeno porte ainda tem sido realizado por meio de mapas e tabelas impressos em forma analógica. Devido à burocracia ainda predominante em diversos setores no Brasil, principalmente no que tange ao setor público, os mapas analógicos e fichários ainda são a realidade encontrada nos municípios. A implantação de sistemas digitais de banco de dados, bem como a sua manutenção e atualização apresenta custos relativamente elevados, desta forma causando resistência à modernização por parte dos administradores públicos.

4.6. Controle de qualidade de produtos cartográficos

A qualidade de um mapa deve ser garantida por leis e normas específicas que apresentem os parâmetros mínimos de qualidade. No caso do Brasil, as normas que norteiam a produção e a análise de qualidade posicional de produtos cartográficos podem ser encontradas no Decreto Lei no 89.817, de 20 de junho de 1984, publicado no Diário Oficial da União de 22 de junho de 1984. Para um entendimento do assunto torna-se necessário ter uma boa definição dos termos precisão, exatidão e acurácia cartográfica.

Segundo Gemael (1994), o termo precisão está vinculado apenas aos efeitos aleatórios (à dispersão das observações), enquanto que a exatidão se vincula a ambos, efeitos aleatórios e sistemáticos. Rodrigues (2008) apresenta o termo exatidão como sendo o grau de aderência do valor mais provável em relação ao valor verdadeiro. Por outro lado, a acurácia expressa o grau de proximidade de uma estimativa com o parâmetro para qual ela foi estimada, ou seja, o valor mais provável encontrado (MONICO et al., 2009).

Ao se tratar de dados espaciais, o valor verdadeiro raramente é conhecido, existe sim, um valor mais provável para esta localização em questão, sendo obtida por instrumentos mais precisos que possuam menores erros sistemáticos. Portanto, nestes casos, não há como falar em exatidão e sim em acurácia; porém, erroneamente, no Decreto-lei 89.817/84, é usado o termo exatidão (SANTOS, 2010). Contudo, por questão de fidelidade semântica ao Decreto-lei 89.817/1984, quando se tratar do mesmo, esse termo será mantido.

Inserido no Decreto 89.817 há também padrões que regulamentam e classificam os documentos cartográficos quanto à sua qualidade geométrica e de acordo com Cintra e Nero (2005) independentemente de o produto ser analógico ou digital, sua validação pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) é a mesma. O padrão brasileiro de acurácia posicional para dados espaciais é definido pelo Decreto-lei nº 89.817 de 1984, de acordo com as tolerâncias definidas no “Padrão de Exatidão Cartográfica” (PEC) e “Erro-Padrão” (EP), onde seus valores são definidos em função da escala de avaliação dos dados espaciais e das classes A, B ou C, definidas por esse Decreto-lei. Em 2010, a Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG) publicou as Especificações Técnicas de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-

ADGV), documento este ligado à Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) criada em 2008 pelo Decreto-lei nº 6.666. Em um de seus itens, a ET-ADGV explica como deve ser a aplicação do Decreto-lei nº. 89.817 e cria uma classe mais restritiva destinadas para produtos cartográficos digitais (PEC-PCD). A Tabela 5 apresenta as tolerâncias utilizadas na avaliação da acurácia posicional utilizando o padrão descrito no Decreto-lei 89.817/ET-ADGV.

Tabela 5- Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia posicional utilizando Decreto-Lei aliada a ET-ADGV.

Classe (PEC)	Classe (PEC-PCD)	Planimetria		Altimetria	
		PEC(mm)	EP(mm)	PEC	EP
-	A	0,28*esc	0,17*esc	0,27 eq	0,17*eq
A	B	0,5*esc	0,3*esc	1/2*eq	1/3*eq
B	C	0,8*esc	0,5*esc	3/5*eq	2/5*eq
C	D	1*esc	0,6*esc	3/4*eq	1/2*eq

onde “eq” significa equidistância vertical entre curvas de nível e “esc” denominador da escala.

A avaliação da acurácia posicional de produtos cartográficos geralmente é realizada por meio de técnicas que se baseiam na verificação de feições pontuais homólogas do produto avaliado e o dado de referência. No entanto, existem casos em que o número de pontos não é suficiente, e/ou sua distribuição não é abrangente em toda a extensão geográfica a ser avaliada (SANTOS, 2010). Estes problemas mostram que, embora os modelos usando pontos sejam conhecidos e tenham sido testados, é recomendável estudar alternativas complementares. Uma possibilidade é a utilização de Feições Lineares, que segundo Mozas e Ariza (2011), em uma base de dados cartográfica, aproximadamente 80% das feições são lineares.

Existem vários métodos de controle de qualidade cartográfica que utilizam feições lineares, muito embora não sejam frequentes sua divulgação e estudos mais aprofundados no Brasil (SANTOS, 2015). A maioria destas avaliações consiste na comparação de duas linhas homólogas.

Os principais métodos são: Banda Épsilon, Buffer simples, Buffer duplo, Distância de Hausdorff, Influência do vértice, Aproximação por Spline dentre outros. Será abordado neste trabalho, o método Buffer Duplo.

Também conhecido como Buffer Overlay Statistical, metodologia baseada nos trabalhos de Tveite e Langaas (1999) como um aprimoramento do método do Buffer Simples. Este método é mais robusto do que o proposto anteriormente por Goodchild e Hunter (1997), uma vez que o processo se baseia na geração de um buffer tanto na linha de referência quanto na linha a ser testada e, em seguida, avalia-se a interseção entre os buffers. O método propõe o seguinte procedimento:

- Selecionar uma amostra de linhas testes (L_t), no produto em análise;
- Selecionar linhas homólogas de outra fonte de maior acurácia (linhas de referências - L_R);
- Gerar um buffer de largura m , em ambas as linhas. Segundo Santos et al. (2015) a largura m é definida como sendo o valor da tolerância PEC-PCD para a escala e classe testada (Tabela 5);
- Contabilizar a área do buffer da linha de referência (A_1), que não coincida com o buffer da linha de teste (A_2);
- Contabilizar a área total do buffer da linha teste (A_2);

Por fim, calcula-se a discrepância média (D) conforme fórmula abaixo:

$$D = \pi. m. \frac{\sum(A_1 - A_2)}{\sum A_2} \quad (3)$$

Sendo:

m : Largura do buffer.

$(A_1 - A_2)$: Área do buffer da linha de referência que não coincida com o buffer da linha de teste (L_t).

A_2 : Área total do buffer da linha teste.

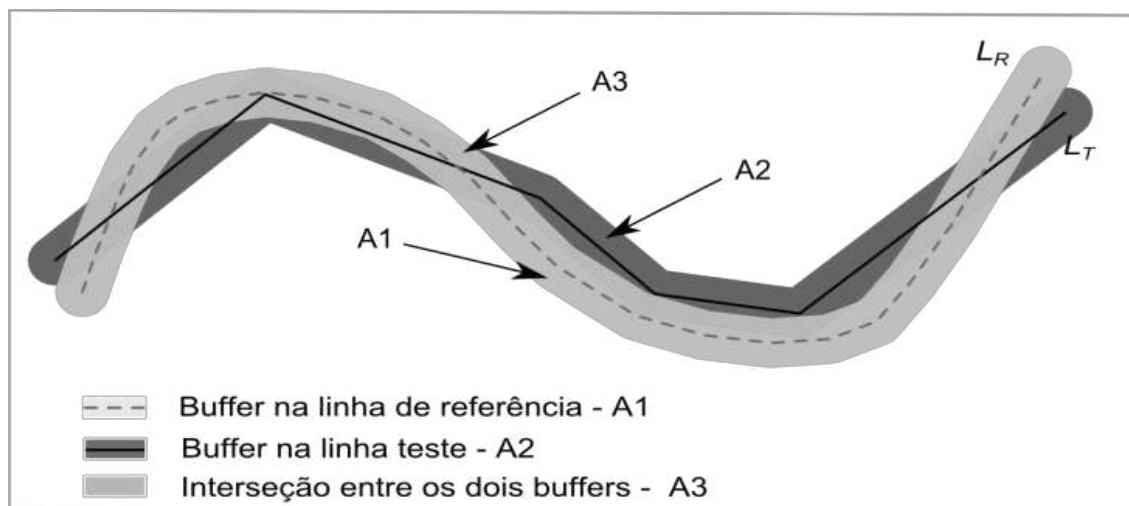


Figura 6- Método Buffer Duplo.
 Fonte: Santos, 2015.

A partir de uma amostra de discrepâncias (obtidas por métodos de feições pontuais ou lineares) aplica-se o Decreto-lei de acordo com as Especificações Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) e com a metodologia aplicada em Santos et al. (2016), atendendo a dois critérios:

- 90% das discrepâncias testadas tem que ser menor ou igual ao PEC para a classe e escala testada.
- O RMS (root mean square) da amostra de discrepâncias testadas, descrito pela equação 4, tem que ser menor ou igual ao Erro-Padrão (EP) para a classe e escala testada.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum(D)^2}{n}} \quad (4)$$

Onde:

D: Discrepância média.

n: número de amostras.

Se as duas condições forem aceitas, classifica-se o dado espacial de acordo com a classe e escala trabalhada. É importante ressaltar que esta norma é utilizada apenas para análise em feições pontuais, no entanto Santos et al. (2015) sugere a aplicação das mesmas condições para discrepâncias posicionais obtidas a partir de feições lineares. O mesmo, verificou resultados condizentes aos métodos tradicionais que utilizam feições pontuais.

4.6.1. Amostragem

Segundo Wong e Lee (2005) quando não se pode “mapear” toda a população, deve-se recorrer cuidadosamente a uma amostra espacial que pode ser aleatória ou sistemática. Sendo a amostra aleatória quando a coleta de informações é realizada aleatoriamente sem nenhuma regra pré-estabelecida. E a amostragem sistemática quando a coleta de informações é realizada de acordo com regras predefinidas de acordo com o objetivo de estudo.

Dentro desses dois tipos gerais de amostragem existem variações como a amostragem estratificada e a amostragem espacial. Quando algumas observações possuem certas características que são comuns e podem ser reunidas em diferentes grupos ou extratos, tem-se a amostragem estratificada. No entanto, a amostragem aleatória e a amostragem sistemática podem conter a amostragem estratificada.

Diante dos diferentes tipos de métodos de obtenção de observações cabe ao usuário determinar o melhor tipo que atenderá seu objetivo. Na Figura 7 são apresentados alguns tipos de amostragens, segundo Ariza (2002). Ressalta-se que em um dos itens da norma ET-ADGV propõe métodos de amostragem para a coleta de pontos de checagem, no entanto tal metodologia não foi aplicada no presente estudo devido já ter sido realizado a coleta dos pontos de checagem quando a norma foi publicada.

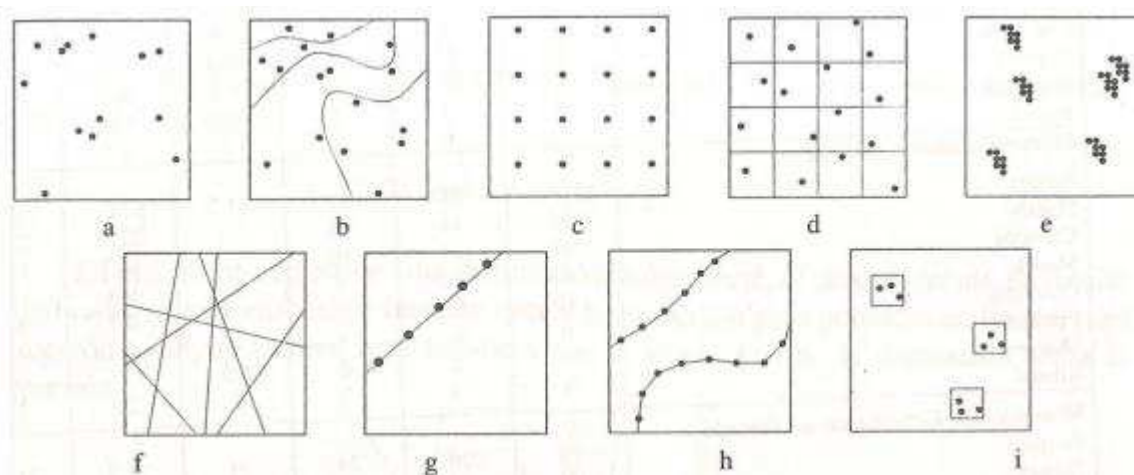


Figura 7- Alguns tipos de amostragens: a) aleatória, b) aleatória estratificada, c) sistemática, d) sistemática não alinhada, e) agrupados, f) por perfis aleatórios retos, g) por pontos equidistantes sobre perfis, h) por meios de comunicação, i) hierárquica ou multicelulares. Fonte: Ariza, 2002.

Uma vez que a análise da acurácia posicional em dados espaciais requer pontos de checagem de modo a abranger toda a área de estudo, torna-se necessário conhecer o padrão de distribuição espacial dos pontos para escolher qual método de avaliação da acurácia posicional será utilizado (SANTOS, 2010).

Segundo Wong e Lee (2005), há quatro tipos de técnicas que permitem detectar o padrão espacial de distribuição dos pontos: análise de quadrantes, vizinho mais próximo, função K e a autocorrelação espacial. A seguir será apresentada a estatística K de Ripley, a qual permite avaliar a distribuição espacial dos pontos em várias escalas, conforme sugerido por Santos et al. (2016).

A incorporação destas técnicas de estatística espacial tem como objetivo eliminar a subjetividade do analista ao detectar como os dados estão distribuídos em toda a área de estudo; apesar de que um analista experiente detecta com propriedade se os pontos utilizados, para checar o produto cartográfico, estão bem distribuídos ou não. Porém, a análise estatística aperfeiçoa e proporciona mais rigor a este processo. Outra vantagem de utilizar destas técnicas estatísticas é conseguir avaliar o padrão de distribuição dos pontos de controle utilizados para geração de ortofotos.

4.6.2. Determinação do padrão de distribuição espacial dos dados pontuais através da estatística K de Ripley

A estatística K de Ripley, avalia se a distribuição espacial se mantém constante em diferentes escalas, ou seja, sob um intervalo de distâncias (SANTOS, 2009; ESRI,2010). A análise da distribuição espacial de uma amostra, através da função K de Ripley, segue os seguintes passos segundo Wong e Lee (2005).

1. Selecionar uma distância incremento (d_{lag}), também conhecida de lag e calcular o número de lags(n_{lag}) possíveis através da equação 5;

$$n_{lag} = \frac{D}{d_{lag}} \quad (5)$$

Onde,

D: a maior distância entre os pontos da amostra.

2. Definir $g=1$ como o número da iteração para iniciar o processo;

3. Para cada ponto da amostra, criar um buffer com raio h (equação 6);

$$h = d_{lag} \times g \quad (6)$$

4. Para cada ponto, contar o número de pontos que caem dentro da área circular de raio h , este contador é chamado de $n(h)$;

$$n(h) = \sum_i \sum_j I_h(d_{ij}), i \neq j \quad (7)$$

Onde,

d_{ih} : distância entre os pontos;

I_h : é uma função indicadora. $I_h = 1$ se $d_{ij} < h$, caso contrário $I_h = 0$;

Aumentar o raio circular em d_{lag} ;

5. Repetir os passos 3,4 e 5, aumentando h até que o valor de g seja igual ao de n_{lag} ;

6. Calcular a função $K(h)$ pela equação abaixo, e comparar com p padrão aleatório;

- Se $K(h)$ for igual ao valor de πh^2 , o padrão da amostra é aleatório;
- Se $K(h)$ for menor ao valor de πh^2 , o padrão da amostra é disperso;
- Se $K(h)$ for maior ao valor de πh^2 , o padrão da amostra é agrupado;

$$K(h) = \frac{A}{n^2} \sum_i \sum_j I_h(d_{ij}) \quad (8)$$

É possível ainda inferir sobre o padrão de distribuição utilizando o auxílio de um gráfico, onde o eixo das abscissas é referente às distâncias (h), e o eixo das ordenadas a função empírica $L(h)$. Valores acima da curva do padrão aleatório indicam padrão agrupado e abaixo padrão disperso. Os padrões agrupados e dispersos serão considerados estatisticamente significantes se suas curvas ficarem fora do intervalo de confiança do padrão aleatório, conforme a Figura 8.

$$L(h) = \sqrt{\frac{K(h)}{\pi}} - h \quad (9)$$

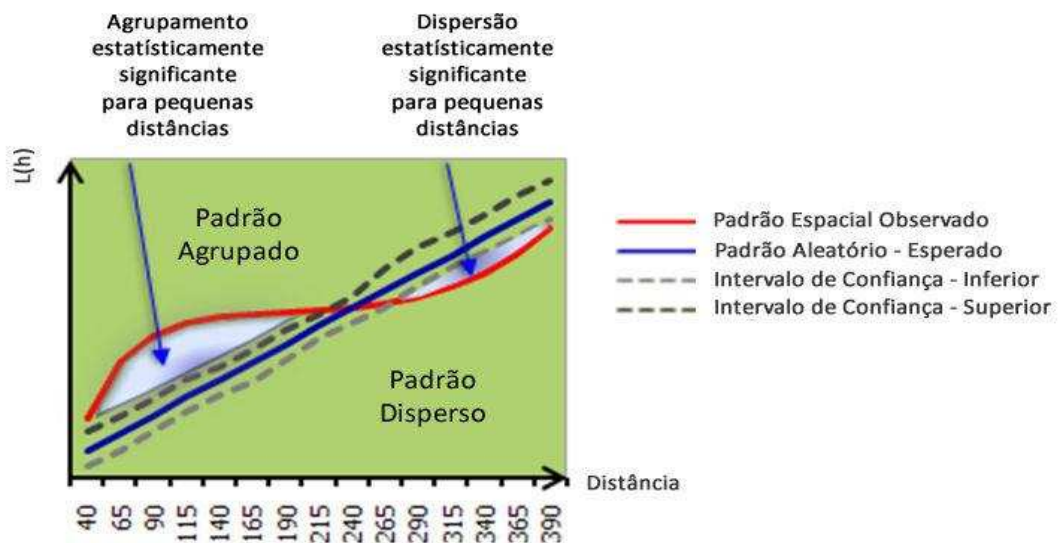


Figura 8-Gráfico demonstrativo da estatística K de Ripley.
 Fonte: ESRI, 2010.

A função K é menos intuitiva e mais complexa tornando sua aplicabilidade um pouco limitada quando o processo espacial não é uniforme em todas as direções (SANTOS, 2010; WONG e LEE, 2005).

4.6.3. Detecção de Outliers

Uma discrepância é dita outlier quando esta apresenta um grande afastamento de valores em relação as outras discrepâncias presentes na amostra de checagem. O boxplot é uma técnica gráfica para a detecção das outliers, sendo muito utilizado devido à simplicidade em sua análise. Os principais pontos levados em consideração na construção do boxplot são os mostrados na Figura 9.

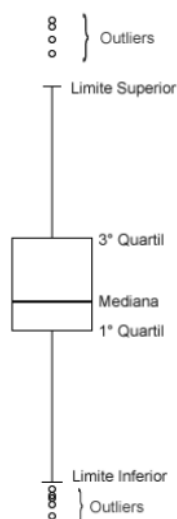


Figura 9- Exemplo de Boxplot.

Abaixo de 1º Quartil estão 25% dos valores, enquanto abaixo de 3º Quartil estão 75% dos valores. Há ainda limites, conhecidos como inner fence, utilizados para determinar quais valores são considerados outliers. Qualquer valor externo a esse limite é considerado outlier. Mais detalhes sobre o método pode ser encontrado em (DAWSON, 2011) e (SCHWERTMAN; OWENS; ADNAN, 2004).

4.6.4. Estatística inferencial

Geralmente quando é feita uma pesquisa através do levantamento de amostras, os pesquisadores a partir dos resultados encontrados querem inferir sobre a área total da pesquisa. A estatística inferencial consiste em uma técnica utilizada para estimar os parâmetros que fornecem resultados para a população partindo de um conjunto de amostras (PASQUALI, 2006).

Para isso devem-se aplicar testes estatísticos que avaliam a normalidade e tendência da amostra como um todo.

4.6.5. Análise de normalidade na amostra

A maioria dos procedimentos estatísticos de estimação e inferência de parâmetros supõe que seus dados amostrais provêm de uma distribuição normal. Entretanto, tal suposição geralmente é deixada de lado pelos pesquisadores, seja por

falta de conhecimento ou por desconhecerem qual o método a ser aplicado para se verificar se os dados seguem ou não uma distribuição normal.

Segundo Pasquali (2006), a normalidade é definida exclusivamente pela simetria, ou seja, as áreas sob a curva são idênticas em ambos os lados da média, uma espelhando a outra como representado na Figura 10. De acordo com Razali e Wah (2011) o início do desenvolvimento de técnicas para detectar desvios da normalidade foi iniciado por Pearson (1895), que trabalhou nos coeficientes de assimetria e de curtose.

O teste de normalidade é um procedimento mais formal a fim de verificar se os dados seguem uma distribuição normal, para isto, existe uma quantidade significativa de teste disponível na literatura para avaliar se a distribuição de um conjunto de dados adere à distribuição Normal: Anderson-Darling (AD), Jarque-Bera (JB), Kolmogorov-Smirnov (KS), Shapiro-Wilk (SW), dentre outros. A seguir será explicado a estatística do teste Jarque-Bera aplicado no presente trabalho.

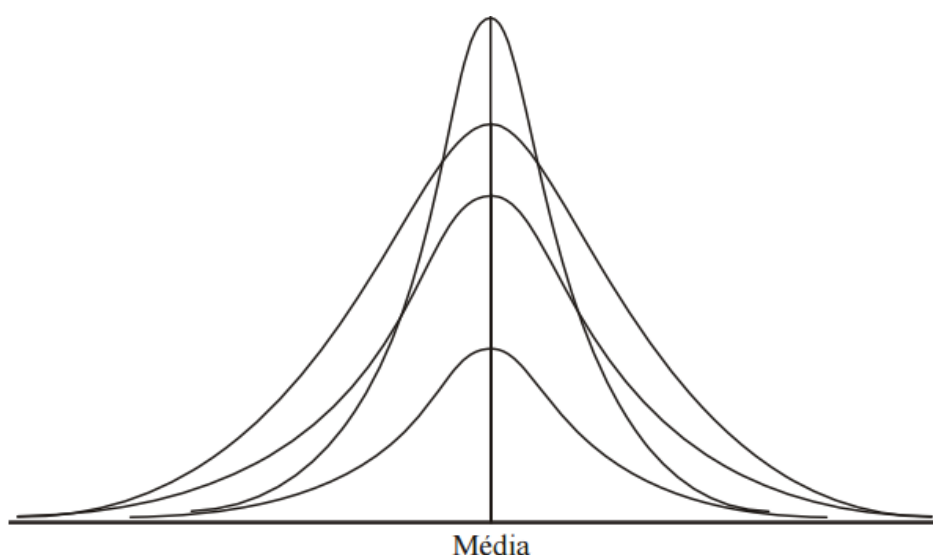


Figura 10- Distribuição Normal.
Fonte: Pasquali (2006).

4.6.6. Teste Jarque-Bera

O teste de Jarque-Bera tem como objetivo avaliar se a amostra segue uma distribuição normal. Para isso segundo Jarque e Bera (1980), o teste de normalidade baseia-se na diferença entre os coeficientes de assimetria e curtose da amostra.

O coeficiente de assimetria (ASS) informa se a maioria dos valores se localiza à esquerda, ou à direita, ou se estão uniformemente distribuídos em torno da média aritmética. O ASS indica o grau e o sentido do afastamento da simetria, ou seja:

- Se $ASS < 0$, a distribuição é classificada como assimétrica negativa, indicando que a maioria dos valores são maiores ou se localizam à direita da média aritmética.
- Se $ASS = 0$, a distribuição é classificada como simétrica, indicando que os valores estão uniformemente distribuídos em torno da média aritmética.
- Se $ASS > 0$, a distribuição é classificada como assimétrica positiva, indicando que a maioria dos valores são menores ou se localizam à esquerda da média aritmética.

A Figura 11 ilustra o comportamento da distribuição assimétrica negativa, simétrica e assimétrica positiva discutidos anteriormente.

$$ASS = \frac{m_3}{m_2 \sqrt{m_2}} \quad (10)$$

$$m_3 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^3}{n} \quad (11)$$

$$m_2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (12)$$

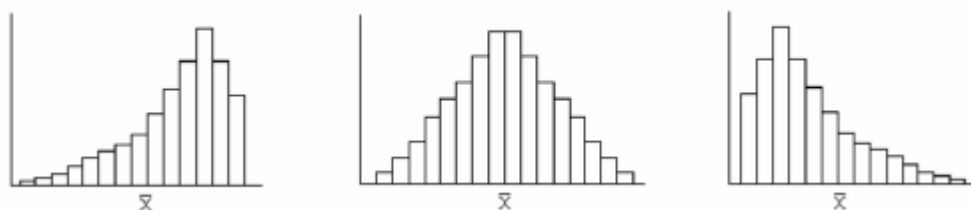


Figura 11- Classificação segundo a assimetria.
 Fonte: Piana et al. (2013).

O coeficiente de curtose (Cur) indica o grau de achatamento de uma distribuição, através da análise da concentração das observações no centro e nas caudas da distribuição. Ele é calculado com base na seguinte equação:

$$\text{Cur} = \frac{m_4}{m_2^2} \quad (13)$$

$$m_4 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^4}{n} \quad (14)$$

- Se $\text{Cur} < 3$, a distribuição é classificada como platicúrtica, indicando que ocorre baixa concentração de valores no centro, tornando a distribuição mais achatada que a distribuição normal (Figura 12.a).
- Se $\text{Cur} = 3$, a distribuição é classificada como mesocúrtica, indicando que a concentração das observações ocorre de forma semelhante à da distribuição normal (Figura 12.b).
- Se $\text{Cur} > 3$, a distribuição é classificada como leptocúrtica, indicando que ocorre alta concentração de valores no centro e nas caudas, o que provoca um pico maior que o da distribuição normal (Figura 12.c).

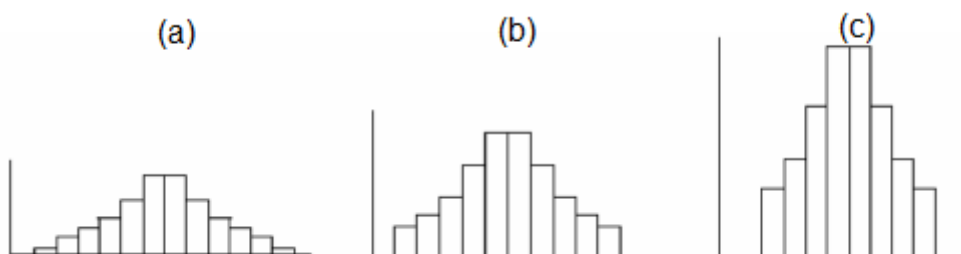


Figura 12- Classificação segundo o coeficiente de curtose. A esquerda classificada como Platicúrtica, no meio Mesocúrtica e a direita Leptocúrtica.
 Fonte: Piana et al. (2013).

A seguir são descritos os passos para aplicação do teste Jarque-Bera.

Formular as hipóteses e escolher o nível de significância do teste de hipótese.

- H0: A amostra segue a distribuição normal quando o valor da assimetria é zero (0) e a curtose igual a três (3).
- Ha: A amostra não segue a distribuição normal.

A estatística do teste é:

$$B_{\text{calc}} = n \cdot \left(\frac{\text{Ass}^2}{6} + \frac{(\text{Cur}-3)^2}{24} \right) \quad (15)$$

Se a estatística do teste for menor que o valor tabelado, não rejeita H0, podendo, assim, inferir que a amostra segue distribuição normal.

4.6.7. Análise de tendência na amostra

No controle de qualidade de dados espaciais, é de fundamental importância a análise de tendências. Segundo Galo e Camargo (1994) a análise de tendências consiste na aplicação de teste estatístico com vistas a determinar a presença de erros sistemáticos no produto avaliado. Ao utilizar um dado tendencioso pode gerar análises, decisões e produtos que não condizem com a realidade de campo (SANTOS, 2010). Segundo Montgomery e Runger (2008), para uma amostra menor que 30 elementos o teste t de Student é indicado e para amostra com mais de 30 elementos o recomendado é o teste Z.

Na avaliação da acurácia posicional o teste t de Student é aplicado observando um nível de confiança (1- α) igual a 90% ($\alpha = 0,10$). A partir do número de pontos coletados, chega-se um valor limite $t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})}$ que pode ser obtido por meio de tabela bilateral. Dessa forma, se o valor absoluto do $t_{\text{calculado}}$ for menor ou igual a t_{tabelado} , para cada variável a ser analisada, a imagem estará livre de erros sistemáticos (MERCHANT, 1982).

$$|t_{\text{calc}}| \leq t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})} \quad (16)$$

As hipóteses para este teste são:

Para a coordenada E:

H0: Se $\overline{dE} = 0$, então E não é tendencioso.

Ha: Se $\overline{dE} \neq 0$, então E é tendencioso.

$$t_{calcE} = \frac{\overline{dE} * \sqrt{n}}{S_{dE}} \quad (17)$$

Onde:

\overline{dE} : Média das discrepâncias na coordenada E;

S_{dE} : Desvio-padrão das discrepâncias para a coordenada E;

n : Número de amostras.

Sendo este o mesmo procedimento que pode ser aplicado também para as coordenadas norte, para a componente altimétrica e para distâncias.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Área de estudo

A área de estudo compreendeu parte do campus da Universidade Federal de Viçosa, no estado de Minas Gerais com uma área de aproximadamente 144 ha. A escolha da área de estudo deve-se pelos seguintes fatores:

- Disponibilidade de fotos obtidas pro VANT.
- Facilidade e rapidez para a realização do trabalho de campo na identificação dos pontos de controle.
- A área agrega topografia levemente acidentada, apresenta edificações, estradas.

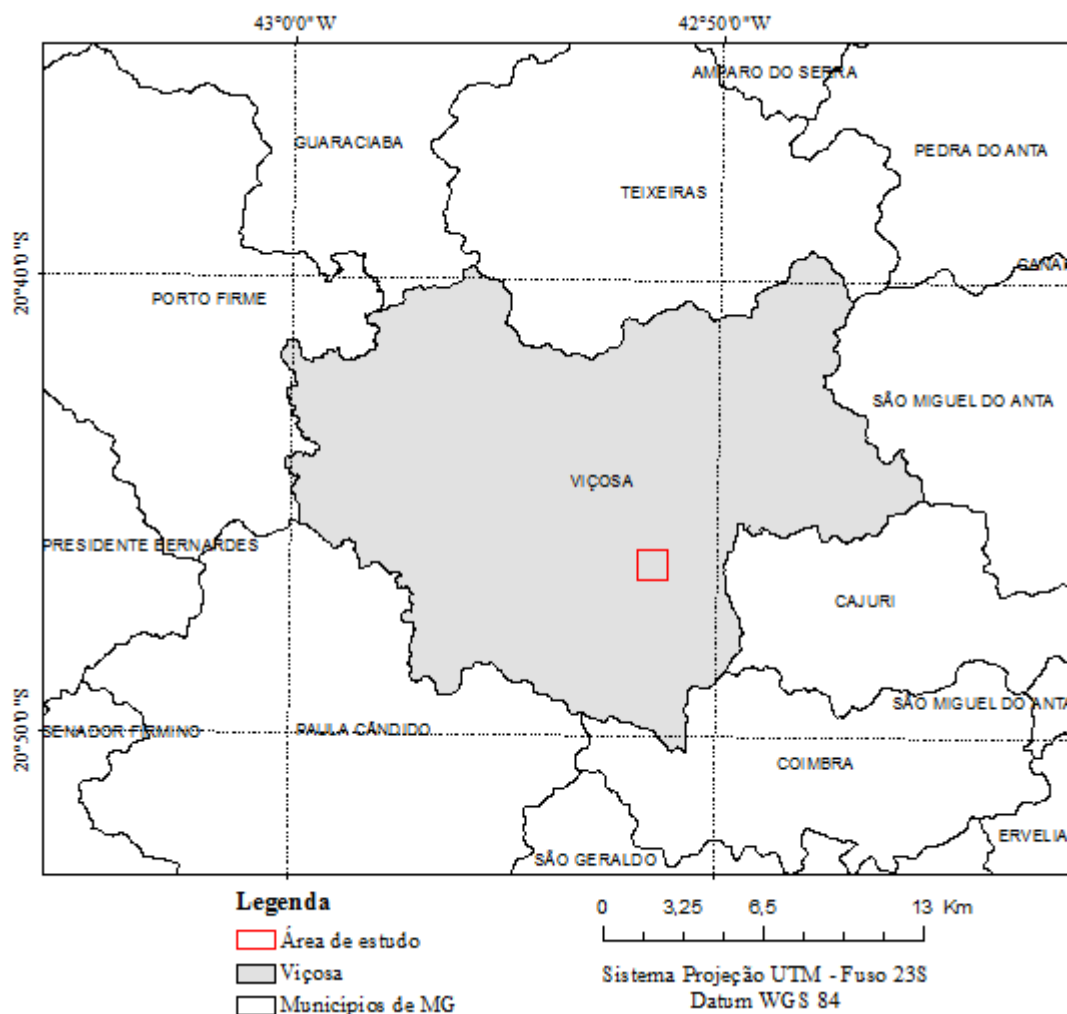


Figura 13- Localização da área de estudo no município de Viçosa-MG.

5.2. Materiais utilizados

Os materiais utilizados foram:

- 119 Fotografias aéreas obtidas com VANT, em que cada uma possui 7360X4912 pixels de dimensão e com uma representação de cores em RGB em formato jpg.
- Receptor GNSS de duas frequências (L1/L2) da marca Javad modelo Triumph-1;
- Software de processamento GNSS Topcon Tools 7.5.1 para o processamento dos pontos de controle;
- Software ArcGIS 10.3 para manipulação dos dados espaciais;
- Software fotogramétrico Agisoft PhotoScan 1.2.5 para o processamento das fotos;

- Software GeoPEC versão 3.0;
- Google Earth.

5.3. Metodologia

O fluxograma abaixo apresenta, de forma ilustrativa, as etapas e os procedimentos metodológicos implementados para atingir os objetivos propostos neste trabalho.

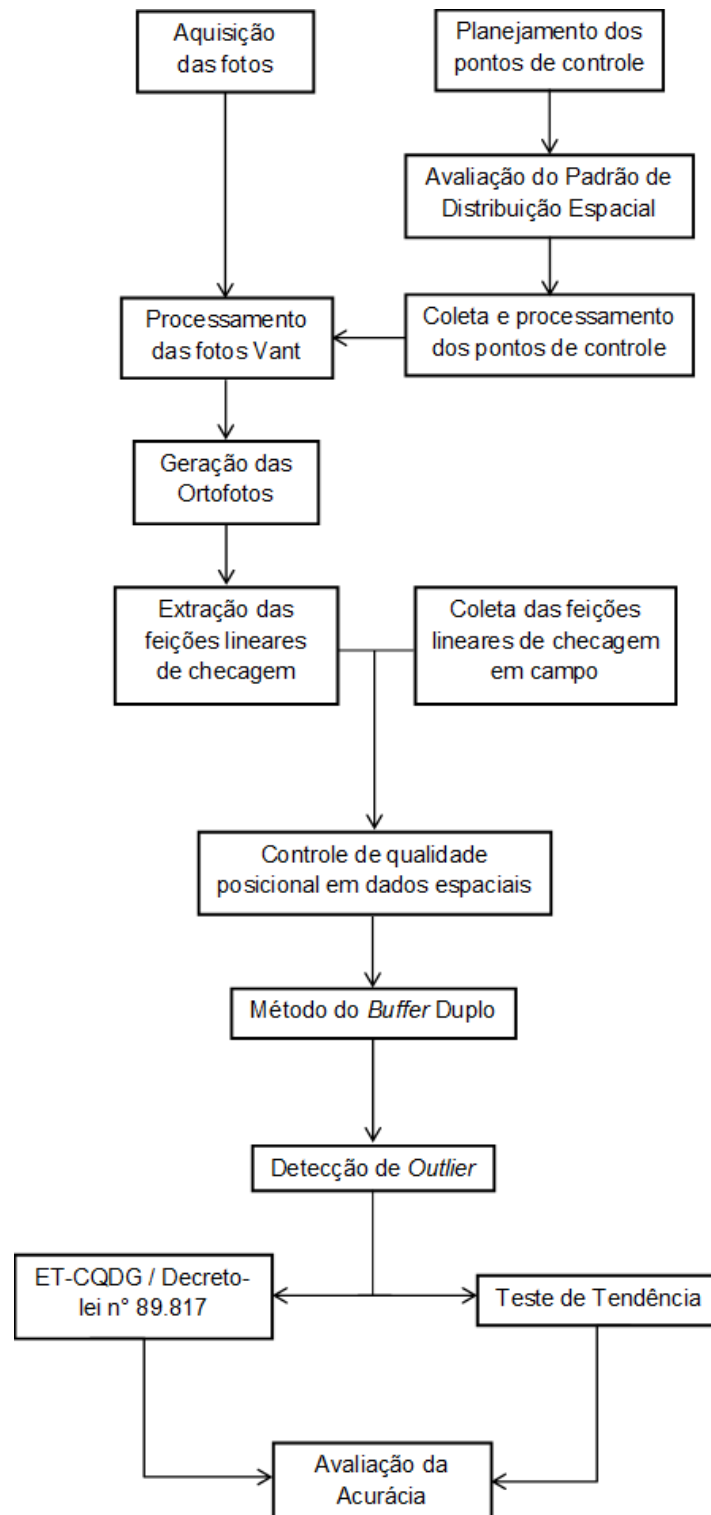


Figura 14- Fluxograma com atividades da metodologia executada.

5.3.1. Aquisição das fotos

A aquisição das fotos foi realizada gratuitamente pela empresa Engenharia CF através do VANT Echar 20A (Figura 15) produzido pela XMobots. O VANT Echar 20A é uma aeronave de asa fixa que possui 2,13 m de envergadura comprimento de 0,94 m e altura de 0,43 m. O lançamento da aeronave é feito por uma catapulta e o pouso por um paraquedas.



Figura 15- VANT Echar 20A.
Fonte: XMOBOTS (2014).

O equipamento é composto por uma aeronave, uma estação de controle e um terminal de dados. A estação de controle e o terminal de dados possibilitam o monitoramento da aeronave, que possui um receptor de sinais de satélite de posicionamento – GNSS e o sistema de medição inercial (Inertial Measurement Unit – IMU), fornecendo os dados de atitude do sensor. Para aquisição das imagens foi utilizada uma câmara Sony ILCE-7R, de pequeno formato. O voo foi realizado no dia 10/08/2015 sobrevoando a área com uma altitude média de aproximadamente 467 m.

5.3.2. Planejamento dos pontos de controle

Para sistematizar a escolha dos pontos de controle de modo que estes ficassem bem distribuídos, gerou-se uma grade de 300mx300m, conforme a metodologia

presente em Gripp Jr. (2009). Logo foram geradas 16 células de acordo com a Figura 16.

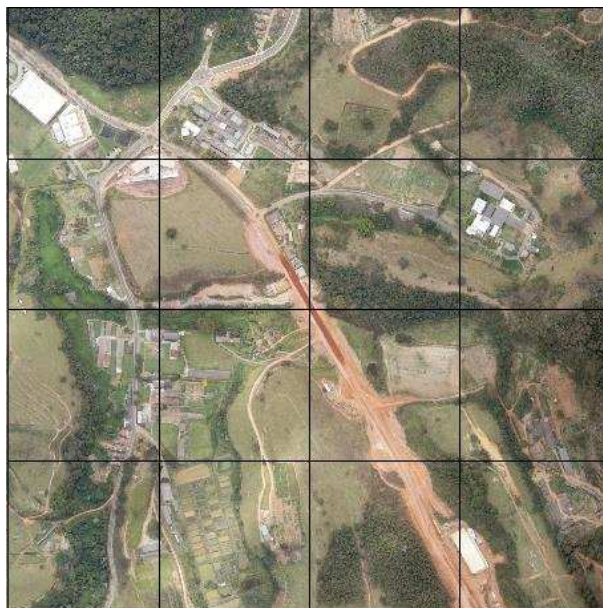


Figura 16- Croqui do recobrimento da área de estudo com a geração de células para a escolha dos pontos de controle.

5.3.3. Avaliação do padrão de distribuição espacial

Conforme apresentado no item 4.6.2. a função K de Ripley é um método robusto para análise da distribuição espacial da amostra. Não atingindo o padrão de distribuição espacial desejado, escolhe-se novamente os pontos a serem coletados. Seguindo essa metodologia otimiza-se o processo de avaliação evitando perda de tempo e evitando refazer a coleta em campo.

5.3.4. Coleta e processamento dos pontos de controle

Com 16 células, escolhem-se pontos bem definidos optando-se pela escolha de intersecção de estradas, faixas de pedestres e meio fio conforme a Figura 17.



Figura 17- Exemplos de pontos levantado em campo.

No primeiro instante, das 16 células definidas foram coletados 15 pontos. Vale ressaltar que uma das células não foi possível coletar devido não ter identificado ponto bem definido pois essa região encontra-se com predominância de vegetação em boa parte da célula dificultando coletar pontos no campo que sejam identificáveis na ortofoto. Em seguida, para avaliar a geração de ortofotos processadas com um conjunto de pontos de controle agrupados, escolheu-se apenas uma das células para realizar a coleta de 15 pontos. Neste trabalho a coleta dos pontos foi realizada com o receptor GNSS da marca JAVAD modelo Triumph-1 utilizando o método estático com intervalo de armazenamento de 5 segundos e tendo como referência a estação RBMC VICO (Viçosa-MG). Alguns cuidados foram observados na escolha dos pontos:

- Evitar locais com obstruções dos sinais dos satélites.
- Pontos com acesso facilitado, por questão de logística.

- Observância do relevo, de modo que os pontos fossem distribuídos pelas altitudes altas e baixas.

O processamento dos dados de campo foi realizado empregando o Software Topcon Tools 7.5.1. Para tanto os dados brutos foram carregados para o programa, bem como os arquivos contendo a base RBMC VICO (Viçosa-MG). Os parâmetros iniciais para o processamento dos dados foram:

- Sistema Geodésico: WGS 84;
- Máscara de elevação: 10°;
- Sistema de Projeção: UTM, Fuso 23 e Meridiano Central -45°.

No primeiro momento foram coletados e processados os pontos distribuídos em toda área de estudo (Tabela 6). No segundo momento, foram coletados e processados o conjunto de pontos de controle agrupados em uma região específica da área de estudo (Tabela 7).

Tabela 6– Coordenadas dos 15 pontos de controle distribuídos em toda área de estudo.

Ponto	E (m)	N (m)	h (m)
P1	722500,358	7702284,091	659,235
P2	722893,890	7702336,906	674,917
P3	723011,309	7702063,380	672,000
P4	722604,291	7701453,914	674,382
P5	722435,240	7701412,108	682,018
P6	722944,234	7701732,786	671,062
P7	722910,328	7701411,620	686,016
P8	723462,208	7701498,146	692,429
P9	723425,878	7701606,715	697,794
P10	722494,419	7701586,158	703,106
P11	722806,231	7702228,467	665,245
P12	723257,637	7702006,518	680,933
P13	722554,823	7702087,487	662,792
P14	722646,639	7701600,242	669,351
P15	722603,733	7701849,898	664,606

Tabela 7– Coordenadas dos 15 pontos de controle coletados em uma região específica.

Ponto	E (m)	Norte (m)	h (m)
P1	722767,416	7702282,041	666,152
P2	722765,805	7702285,195	666,152
P3	722780,808	7702313,33	665,667
P4	722781,775	7702312,918	665,745
P5	722782,718	7702312,548	665,794
P6	722783,651	7702312,201	665,801
P7	722784,598	7702311,816	665,826
P8	722796,165	7702299,851	666,651
P9	722796,559	7702298,916	666,634
P10	722796,942	7702298,004	666,647
P11	722797,327	7702297,058	666,643
P12	722797,692	7702296,14	666,614
P13	722798,061	7702295,178	666,583
P14	722798,465	7702294,285	666,547
P15	722802,654	7702299,649	666,481

5.3.5. Processamento das fotos VANT

Uma vez coletados os pontos controle, as fotos foram processadas modificando o número e a distribuição dos pontos. No primeiro momento, foram realizados o processamento com 5, 10 e 15 pontos de controle distribuídos por toda a área de estudo, utilizando o software Agisoft PhotoScan Pro. Em seguida, foi realizado o processamento com 15 pontos de controle agrupados, coletados em apenas uma das células.

Todo o processamento foi realizado no Datum WGS 84 com sistema de projeção UTM do fuso 23S, em razão dos dados de campo compartilhar deste mesmo referencial. As Figuras 18, 19, 20 e 21 ilustram a distribuição dos pontos de controle utilizados para geração das ortofotos.



Figura 18- Croqui da distribuição dos 5 pontos de controle coletados em campo.



Figura 19- Croqui da distribuição dos 10 pontos de controle coletados em campo.



Figura 20- Croqui da distribuição dos 15 pontos de controle coletados em campo.



Figura 21- Croqui da distribuição dos 15 pontos de controle coletados em apenas uma das células geradas.

O Agisoft Photoscan possui um fluxo automatizado para processar as imagens, os procedimentos foram realizados com base na metodologia apresentada na Figura 22.

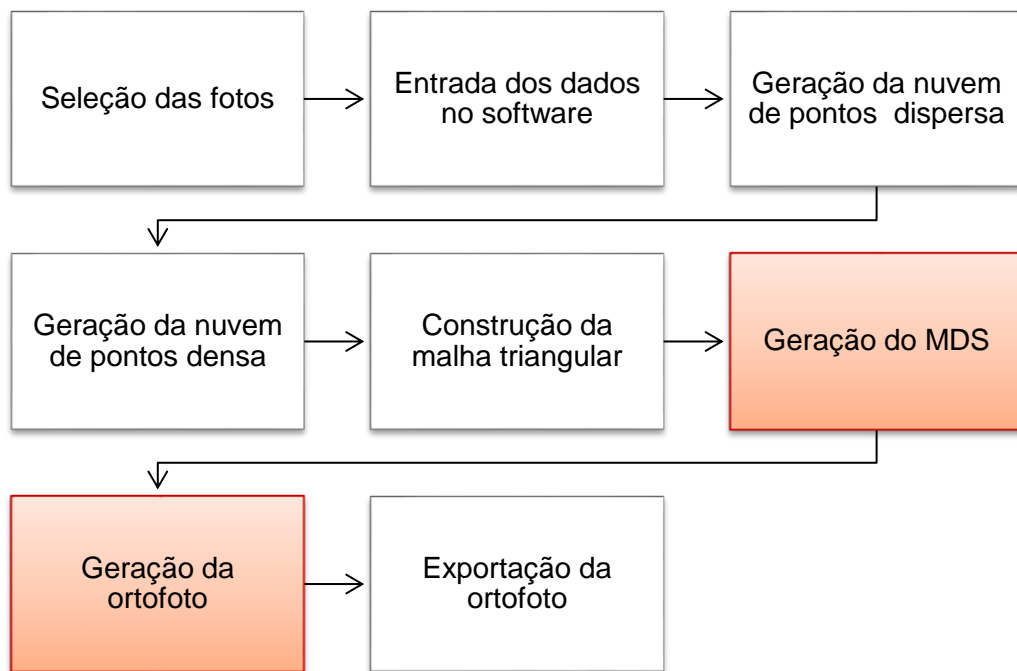


Figura 22- Fluxograma do processamento dos dados oriundos do VANT.

- i. Seleção das fotos: a seleção das fotos foi realizada manualmente, antes de serem adicionadas à ferramenta computacional, excluindo aquelas que apresentaram problemas de qualidade decorrentes da inclinação da aeronave no momento da tomada da fotografia (fotografias inclinadas) e da deriva da mesma provocada pelo vento (arrasto).
- ii. Entrada dos dados no software: foram inseridas as fotos com seus respectivos ângulos de altitude e suas coordenadas.
- iii. Geração da nuvem de pontos dispersa: consiste no alinhamento das fotos, onde o algoritmo do Agisoft consiste em procurar pontos homólogos entre as imagens e fazê-los corresponder, bem como encontrar a posição da câmara em cada imagem, e refinando em seguida os parâmetros de calibração da câmara. Como resultado obteve-se uma nuvem de pontos dispersa.
- iv. Geração da nuvem de pontos densa: a fase seguinte foi à construção da geometria do modelo baseada na posição da câmara e uma malha de polígonos das fotografias, representando a superfície dos objetos.
- v. Construção da malha triangular: a malha triangular foi gerada a partir da nuvem de pontos densa. É gerada uma rede irregular de triângulos (Triangular Irregular Network - TIN) que representa as elevações da superfície, a partir dela é obtido o Modelo Digital de superfície (MDS) e a ortofoto da área de estudo.

- vi. Exportação da ortofoto: a ortofoto foi exportada no sistema de coordenadas Universo Transverso de Mercator (UTM), fuso 23 Sul e no sistema de referência WGS84.

No presente trabalho as fotos foram processadas utilizando a configuração (padrão) inicial do software. Não foram testadas as opções no software com maior precisão (higher accuracy e ultrahigher accuracy) para o alinhamento das fotografias bem assim como para construção do modelo. Para tal seria necessário um computador com processador mais potente e com quantidade de memória RAM suficiente.

5.3.6. Extração das feições lineares de checagem

Os métodos de extração de feições dividem-se em três categorias: manuais, semiautomáticos e automáticos. Nos métodos manuais, o operador realiza tanto a identificação como a delimitação das feições interativamente. O método semiautomático é caracterizado pela interação do operador apenas na identificação das feições, ficando a cargo do sistema a etapa de extração. Já os métodos automáticos tentam evitar totalmente a intervenção humana durante o processo de extração.

Segundo Medeiros (2007) as feições lineares podem ser representadas por uma função analítica, por exemplo, linhas retas e seções cônicas, ou por uma forma irregular (forma-livre, como splines). No presente trabalho, o processo de extração de feições foi realizado manualmente e foram representadas de forma irregular (Figura 23).



Figura 23- Croqui das feições lineares extraídas na ortofoto.

5.3.7. Coleta de feições lineares de checagem em campo

Segundo Nero (2000), existem basicamente duas formas de coletar feições de controle para o processo de qualidade geométrica de documentos cartográficos, o primeiro envolvendo o uso de documentos cartográficos existentes da área de interesse e o segundo com a utilização de levantamento direto em campo por meio de tecnologia GNSS. Em ambas o princípio é o mesmo, devendo-se escolher pontos identificáveis tanto no produto a ser analisado como documento mais acurado ou pontos que possam ser levantamento pelo GNSS.

A coleta das feições neste trabalho foi realizada com o receptor GNSS da marca JAVAD modelo Triumph-1 utilizando o método NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) e tendo como referência a estação RBMC VICO (Viçosa-MG). A Figura 24 ilustra as feições lineares coletadas em campo.



Figura 24- Croqui das feições lineares coletadas em campo.

5.3.8. Controle de qualidade posicional em dados espaciais

De posse das feições de checagem coletadas em campo e das feições extraídas nas ortofotos, foram calculadas as discrepâncias através do método Buffer Duplo. Das amostras de discrepâncias foram gerados gráficos para detecção de outliers pelo método gráfico do boxplot.

Em seguida, foi aplicado o teste de normalidade Jarque-Bera. Constatada a normalidade das amostras de discrepâncias fez-se a avaliação da acurácia posicional utilizando o padrão de acurácia posicional definido na ET-CQDG / Decreto-lei 89.817 para a escala 1:1.000. Após, aplicou-se o teste t de Student para verificar a existência de tendência no produto cartográfico.

5.3.9. Extração de informação geográfica a partir da ortofotos

Após a avaliação da qualidade posicional das ortofotos geradas com diferente número e distribuição de pontos de controle, a partir da ortofoto que se obteve a melhor classificação foi então realizada a extração de informação geográfica a partir da mesma. Tal tarefa pode ser realizada por meio de técnicas tradicionais de extração automática de informação baseando-se em classificadores digitais ou por meio da vetorização manual (SANTOS et al., 2010). Deste modo, estas técnicas de extração

de informação sobre ortofotos podem ser usadas, por exemplo, com a finalidade de avaliação do crescimento urbano de uma área ou ainda a detecção de alterações ocorridas. Os resultados provenientes destes processos podem ser analisados em ambiente SIG e posteriormente integrados numa base de dados geográficos, permitindo desta forma a gestão e atualização da informação nela contida.

Antes de se iniciar ao processo de extração de informação geográfica, foi realizada a fotointerpretação visual da ortofoto. Nesta etapa do trabalho o objetivo foi identificar os elementos que pudessem ser extraídos da imagem. Verificou-se que ruas, edificações, foram mais fáceis de serem identificados, pois apresentavam configurações mais definidas. Por outro lado, havia também alguns elementos não muito bem definidos, como por exemplo; telhados de edificações com alguma distorção, originada durante processo de ajuste do ortofoto, sobreposição de coberturas conforme é apresentado na Figura 25 que resultou, provavelmente, de insuficiente número de fotografias de diferentes perspectivas dos mesmos objetos.



Figura 25- Problemas encontrados nas ortofotos. Sobreposição (esquerda) e deformação de coberturas (direita).

A fase seguinte correspondeu a extração de informação geográfica. O processo de extração de informação foi realizado com base no método de vetorização manual. A vetorização manual consiste em um operador usando um cursor capturar elementos a partir de uma imagem raster, método mais simples, fácil e barato de capturar dados vetoriais a partir de ortoimagens ou mapas digitalizados (Longley, Goodchild et al., 2007). O produto oriundo desta etapa é um arquivo vetorial, contendo as feições vetorizadas, que pode ser utilizado pelo município para inúmeras atividades de

planejamento e desenvolvimento municipal. Dentre elas pode-se citar como utilização: atualizações cadastrais.

5.3.10. **Atualizações cadastrais**

Devido constantes mudanças que ocorrem no espaço, é necessária à atualização dos dados cartográficos, por exemplo, em prefeituras municipais, considerando que constantemente necessitam de informações atualizadas para planejar e apoiar suas decisões nas mais variadas áreas. No entanto, nem sempre um mapeamento condiz com a realidade, visto que este pode não acompanhar as mudanças ocorridas em um pequeno intervalo de tempo. No âmbito da cartografia urbana, que necessita de mapas de grandes escalas, este problema se agrava, por se tratar de um ambiente onde há alterações a todo o momento. Todas essas alterações devem estar contidas nas cartas cadastrais. Com as cartas cadastrais, muitos setores que compõem a administração municipal podem extrair informações e tomar decisões apoiadas nos dados identificados. Daí a necessidade de se ter dados atualizados constantemente para que seja possível trabalhar com dados que condizem com a realidade.

Os métodos de atualização podem ser classificados em: cíclico, seletivo e contínuo. No método cíclico a atualização é realizada em intervalos de tempo pré-definidos. No método seletivo, a atualização é realizada segundo uma ordem de prioridades e no método contínuo, a carta é mantida em constante atualização. Sem dúvida, a atualização contínua é a mais recomendada, porém em alguns casos é a de maior custo e em outros casos, de difícil implantação. A utilização deste ou daquele método dependerá da dinâmica de alteração superficial, da finalidade das cartas e dos recursos disponibilizados para atualização. (ROBBI, 1990).

Neste contexto, as ortofotos geradas por VANT permitem a identificação de elementos (feições) do espaço físico que ao longo dos anos passam por modificações notáveis tais como, trechos de rodovia, ferrovia, oleodutos, linhas de transmissão de energia elétrica, edificações, vegetação, etc., possíveis de extração, visando à atualização de bases cartográficas e conseqüentemente documentos derivados.

6. RESULTADOS E ANÁLISES

Neste tópico são apresentados os resultados obtidos na aplicação da metodologia descrita no trabalho, onde são expostos os resultados provenientes do processamento das imagens VANT, assim como avaliação da qualidade posicional por meio de feições lineares de verificação e a extração e atualização de informações.

6.1. Análise da distribuição dos pontos de controle

Após ter realizado o planejamento dos pontos de controle, estes foram submetidos ao teste da função K de Ripley, para inferir sobre o padrão de distribuição espacial destes conjuntos de pontos. Esta inferência é realizada sobre um gráfico resultante. Neste, a linha azul representa o padrão teórico aleatório, a linha vermelha representa o padrão observado do conjunto de pontos e as linhas cinza representam o nível de confiança. Nota-se que o padrão de análise das amostras dos 5, 10, 15 pontos de controle, distribuídos por toda a área de estudo, é considerado estatisticamente significativo para o padrão aleatório (Figuras 26, 27 e 28), já que o padrão observado está dentro do intervalo de confiança do padrão aleatório. Para o conjunto de 15 pontos de controle, selecionados em apenas uma região da área de estudo, o gráfico indica padrão agrupado estatisticamente significativo, devido a linha vermelha se localizar acima da linha azul e fora do intervalo de confiança (Figura 29).

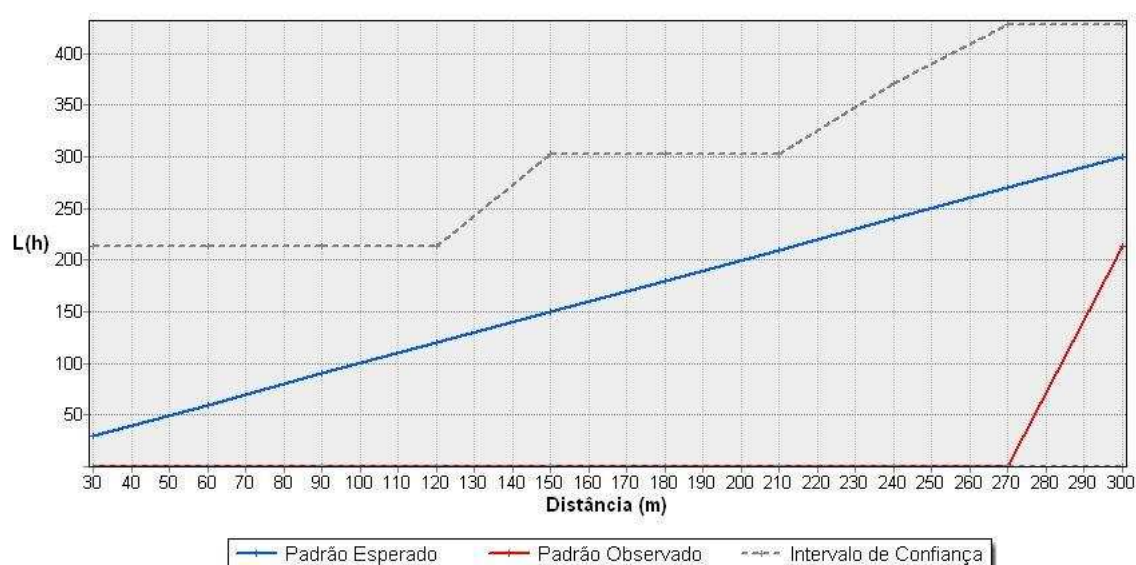


Figura 26- Resultado da análise da Função K de Ripley dos 5 pontos de controle.

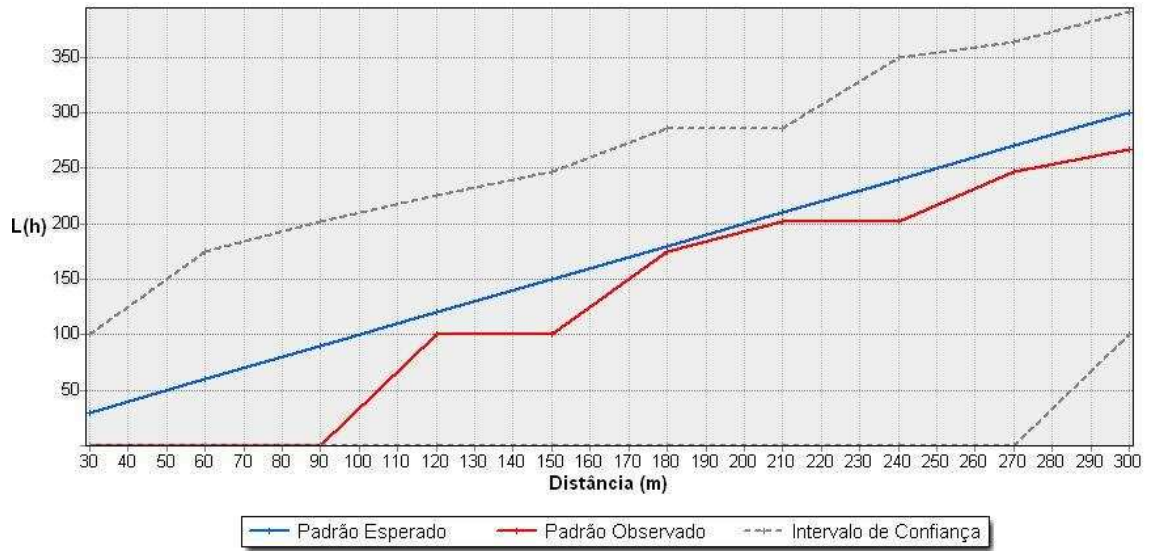


Figura 27- Resultado da análise da Função K de Ripley dos 10 pontos de controle.

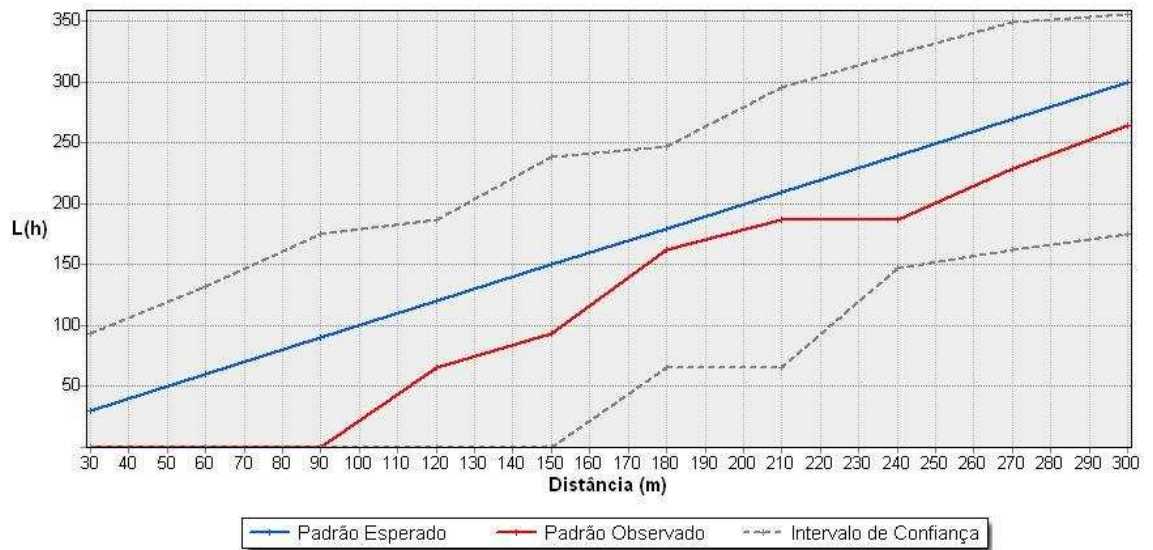


Figura 28- Resultado da análise da Função K de Ripley dos 15 pontos de controle.

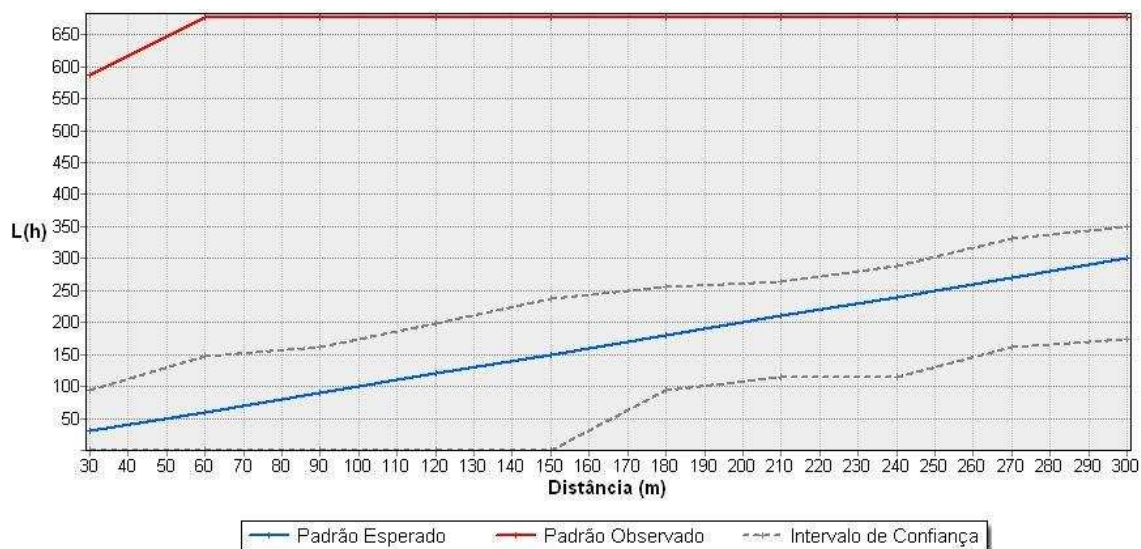


Figura 29- Resultado da análise da Função K de Ripley dos 15 pontos de controle selecionados em apenas uma região da área de estudo.

6.2. Geração das ortofotos

Após verificar a distribuição espacial dos pontos de controle, foram realizadas a coleta e o processamento dos dados de campo. Em seguida foram obtidas as quatro ortofotos conforme apresenta as Figuras 30, 31, 32 e 33.

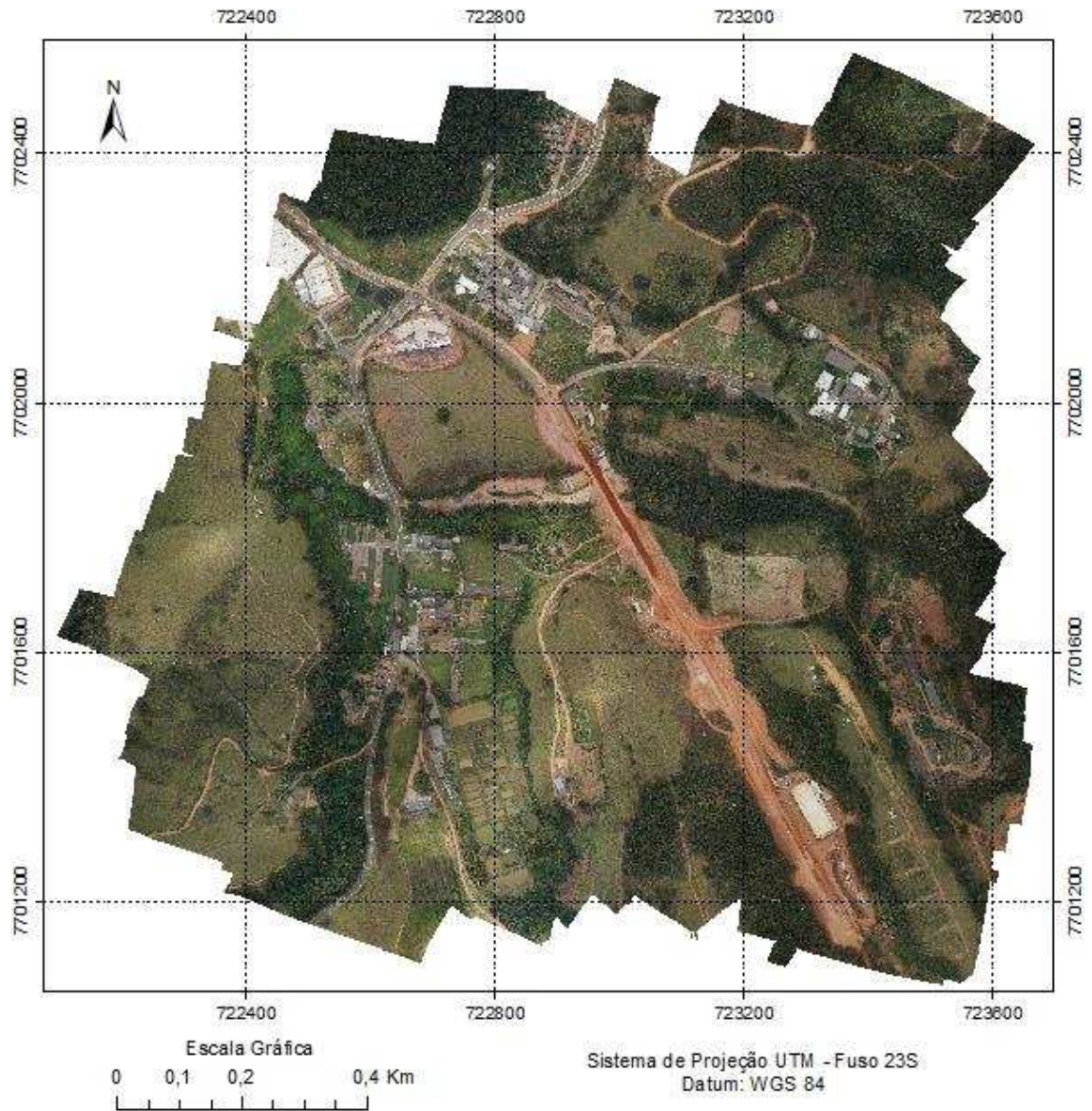


Figura 30- Ortorectado gerado com 5 pontos de controle.

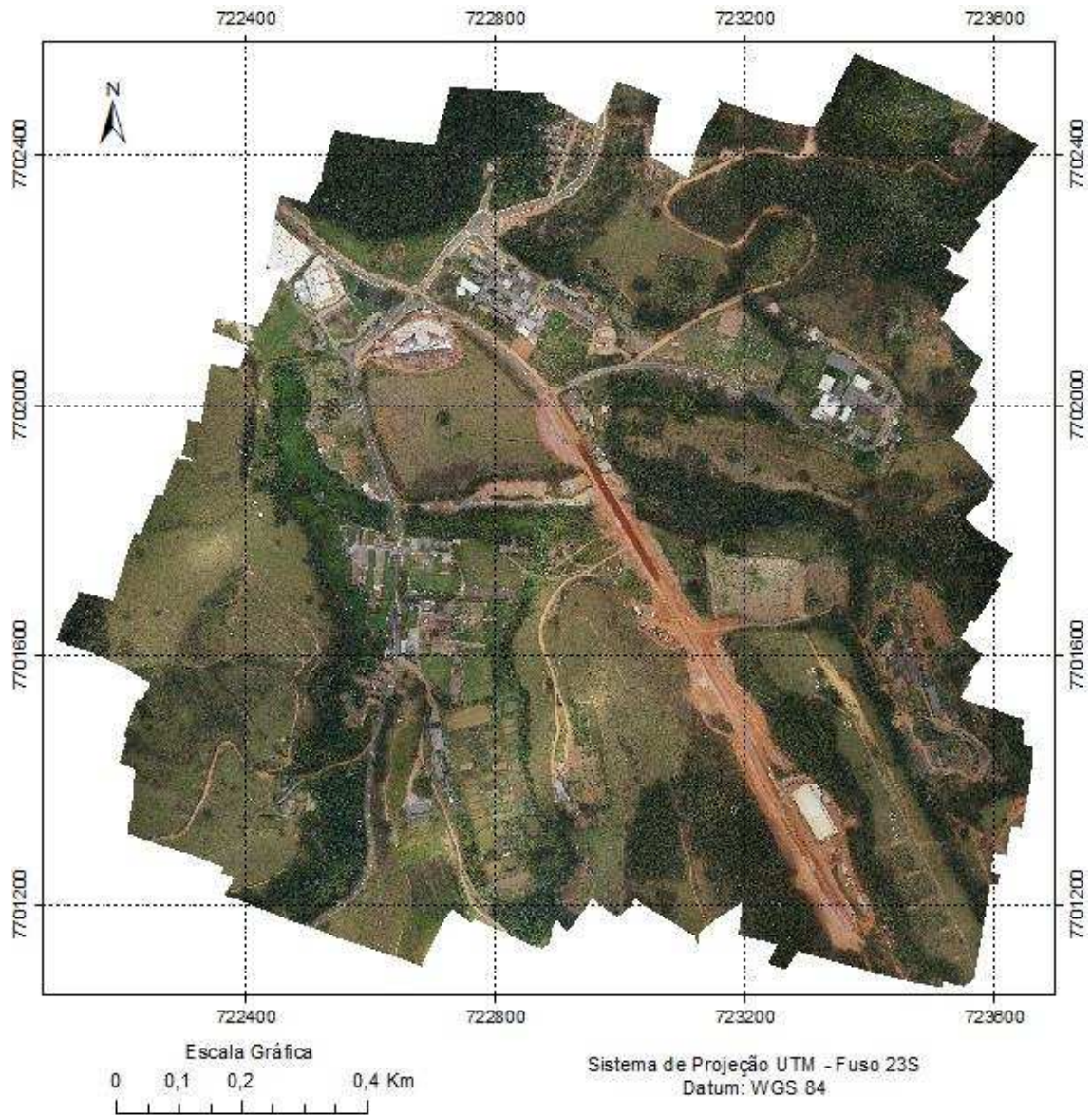


Figura 31- Ortofoto gerada com 10 pontos de controle.

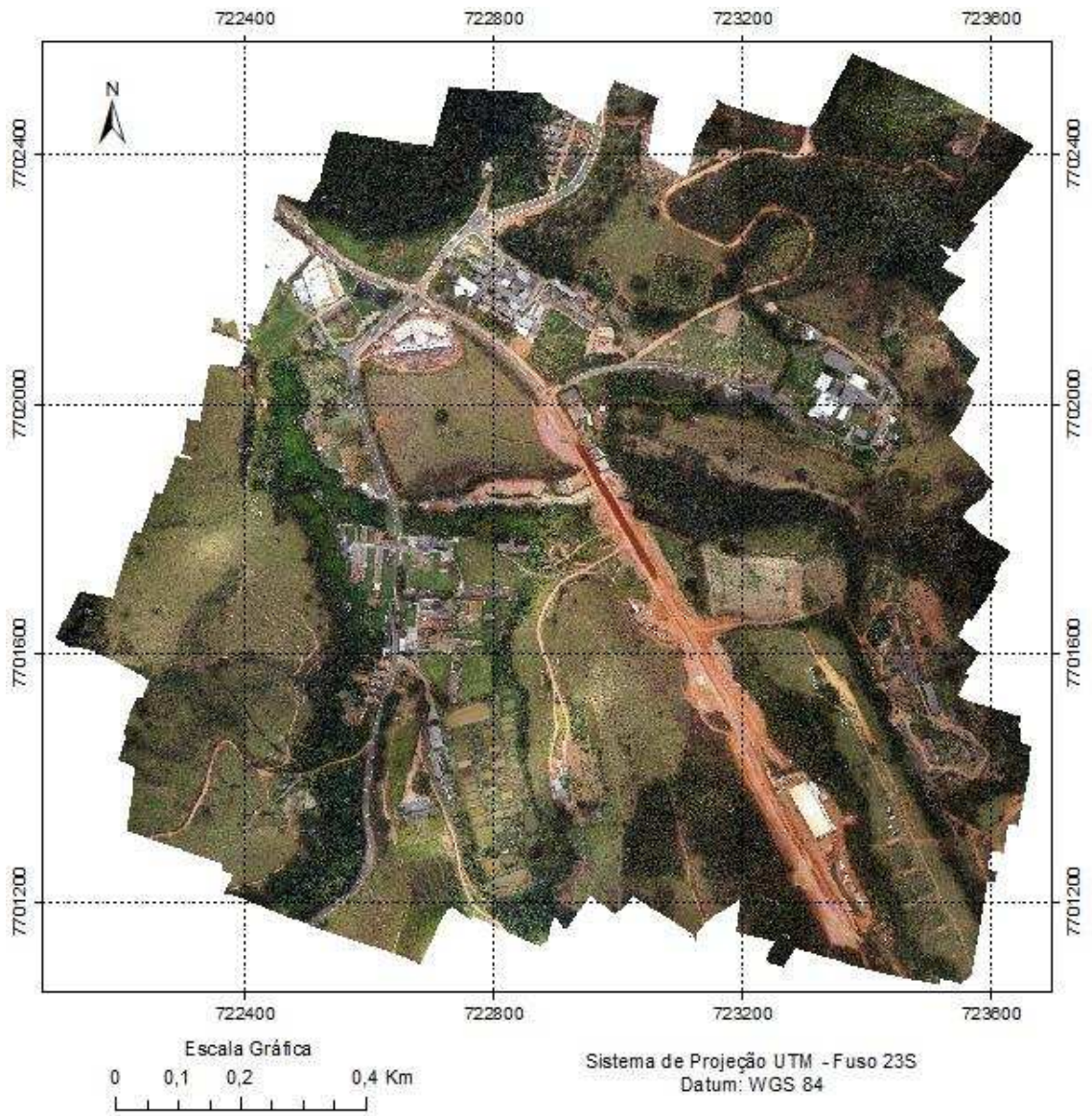


Figura 32- Ortorectado gerado com 15 pontos de controle.

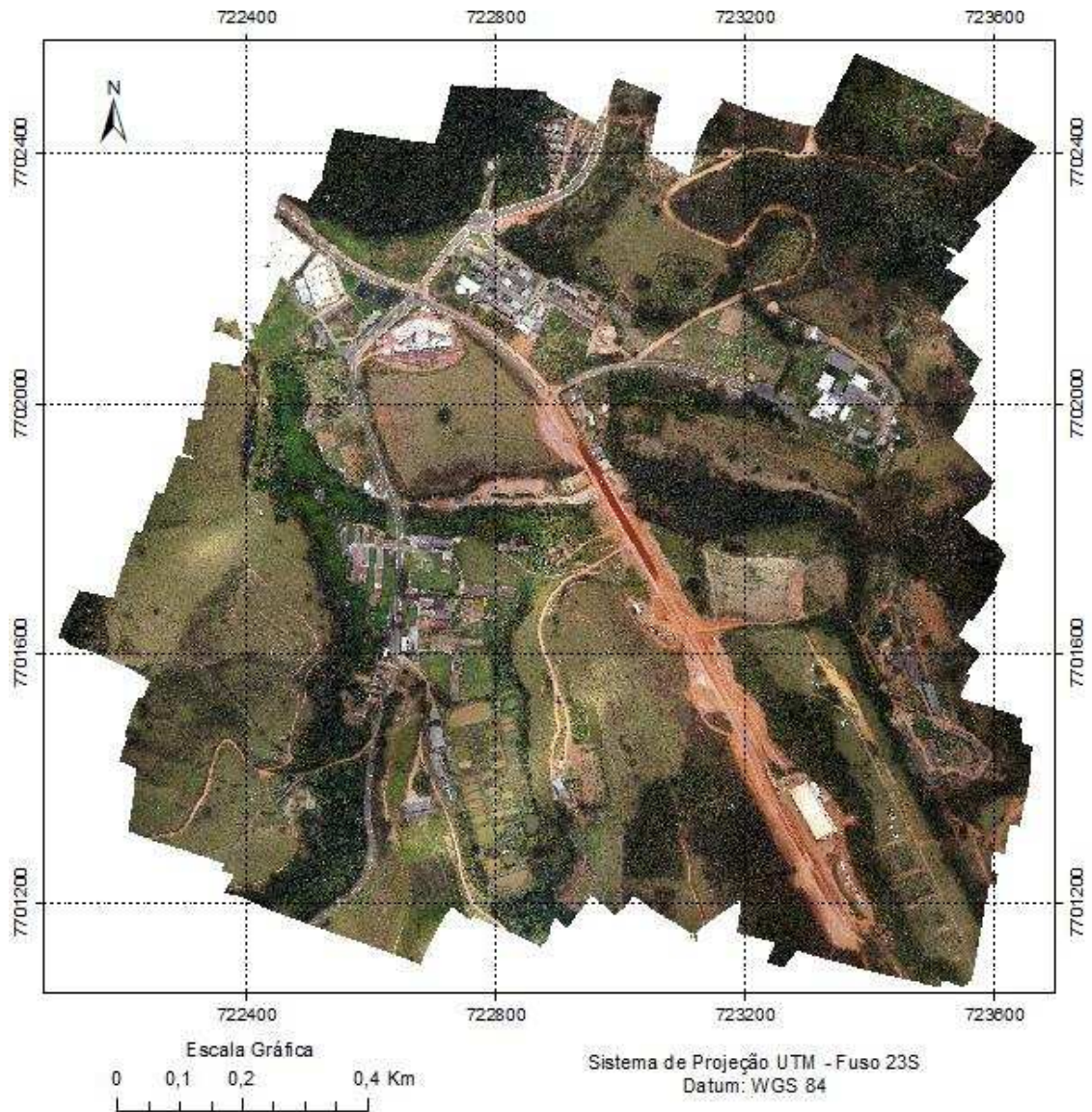


Figura 33- Ortofoto gerada com 15 pontos de controle selecionados em apenas uma região da área de estudo.

6.3. Avaliação da qualidade posicional das ortofotos

A partir dos cálculos realizados no Software ArcGIS, obtiveram-se os valores de discrepância entre as feições lineares levantados em campo via receptores GNSS e seus homólogos identificados nas ortofotos. Em seguida, foi aplicado o método do Buffer Duplo e obtido as discrepâncias posicionais planimétricas. As Figuras 34, 35 e 36 apresentam os gráficos das discrepâncias posicionais observadas das ortofotos processadas com 5, 10 e 15 pontos de controle coletados por toda a área de estudo. A Figura 37 apresenta o gráfico das discrepâncias observadas na ortofoto processada a partir dos 15 pontos de controle agrupados.

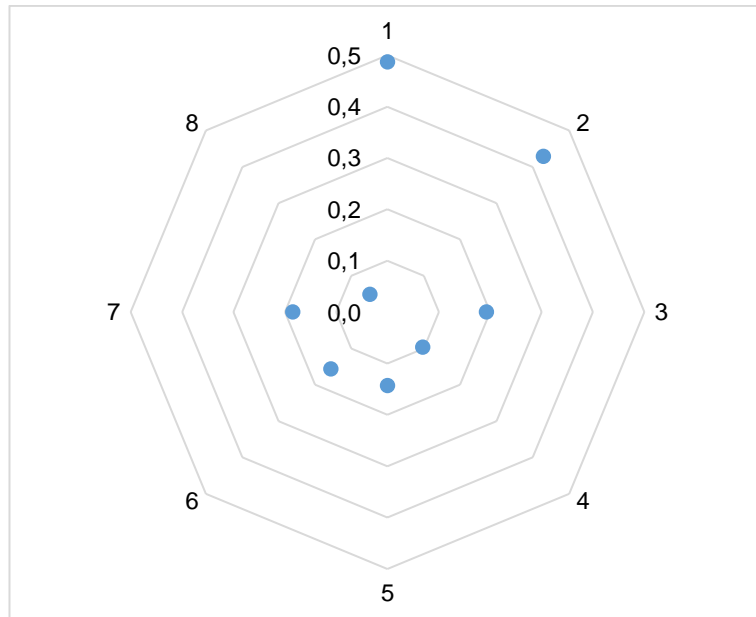


Figura 34– Gráfico de discrepâncias em metros (m), obtidos pelo método Buffer Duplo utilizando 5 pontos de controle.

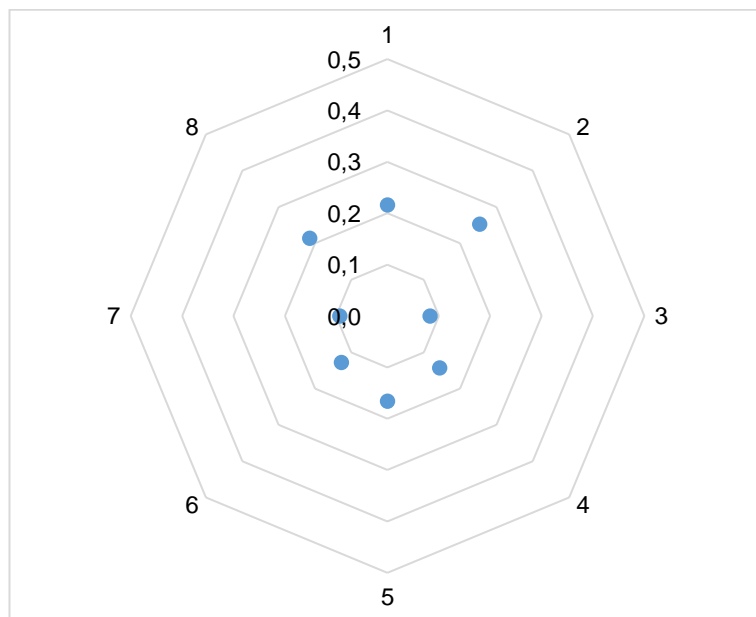


Figura 35– Gráfico de discrepâncias em metros (m), obtidos pelo método Buffer Duplo utilizando 10 pontos de controle.

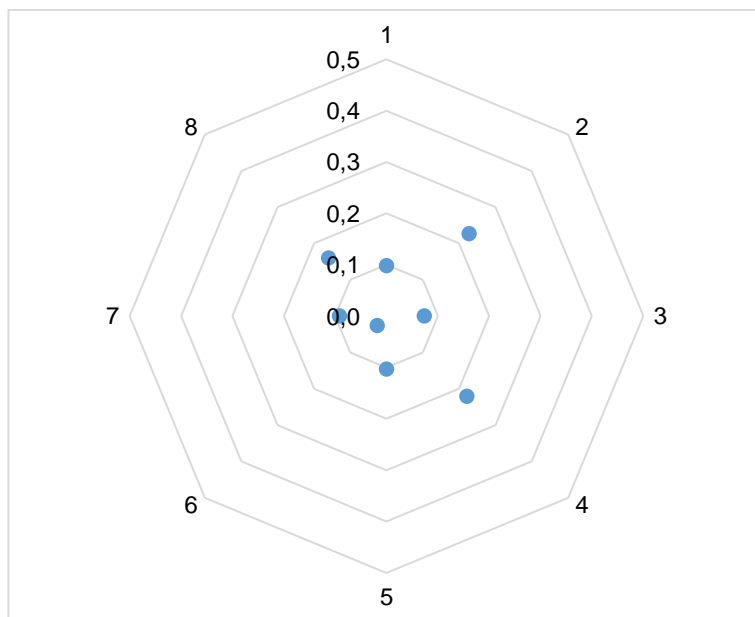


Figura 36-Gráfico de discrepâncias em metros (m), obtidos pelo método Buffer Duplo utilizando 15 pontos de controle.

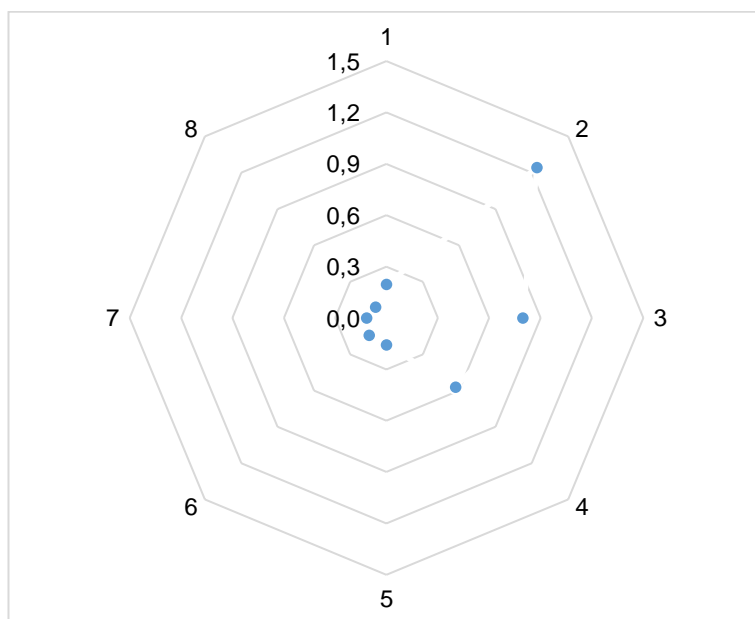


Figura 37-Gráfico de discrepâncias em metros (m), obtidos pelo método Buffer Duplo utilizando 15 pontos de controle agrupados.

De posse dos resultados, verifica-se que as discrepâncias encontradas no processamento das fotos utilizando 5 pontos de controle apresentou maior discrepância em locais em que não foram inseridos pontos de controle no processamento.

Ao inserir 10 e 15 pontos de controle no processamento das fotos verifica-se novamente que nos lugares em que não há presença de pontos de controle as

discrepâncias foram maiores, percebe-se também que em alguns lugares houve redução das discrepâncias. Nota-se que as discrepâncias da ortofoto gerada com 15 pontos de controle agrupados, são menores perto da região da coleta dos pontos e no decorrer que se afasta dessa região os valores das discrepâncias vai aumentando, conforme pode-se notar na Figura 38.

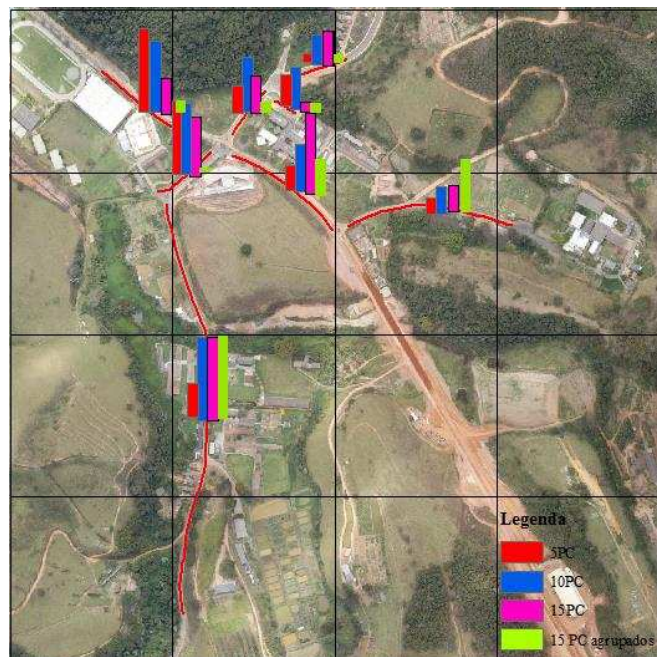


Figura 38– Croqui da distribuição das discrepâncias dos resultados gerados das ortofotos processadas.

As Figuras 39, 40, 41 e 42 apresentam os gráficos do Boxplot das discrepâncias observadas nas ortofotos. Nota-se que não houve a presença de outliers nos dados.

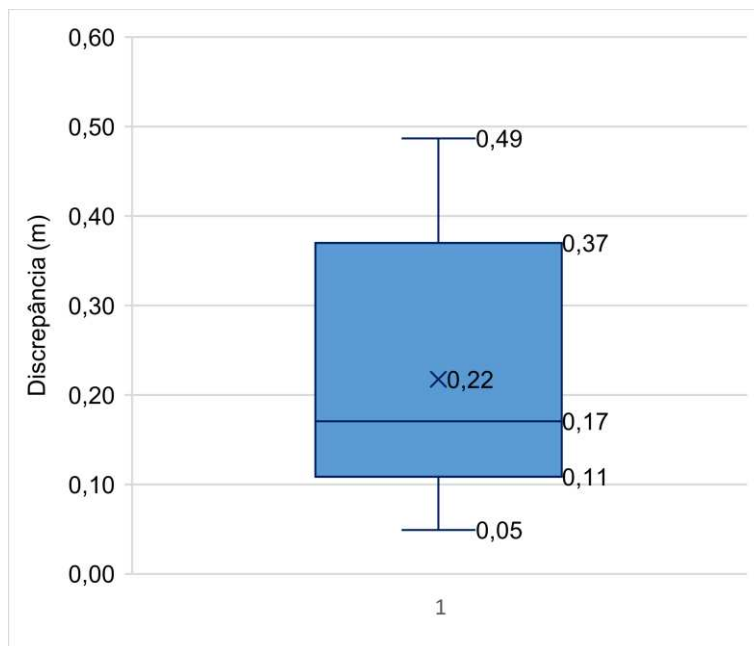


Figura 39– Gráfico do Boxplot obtidos dos resultados da ortofoto processada utilizando 5 pontos de controle.

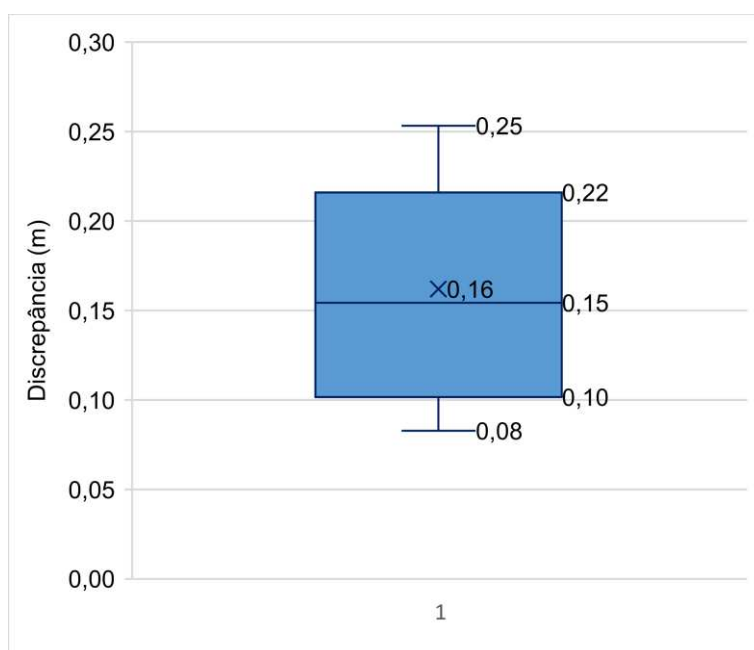


Figura 40– Gráfico do Boxplot obtidos dos resultados da ortofoto processada utilizando 10 pontos de controle.

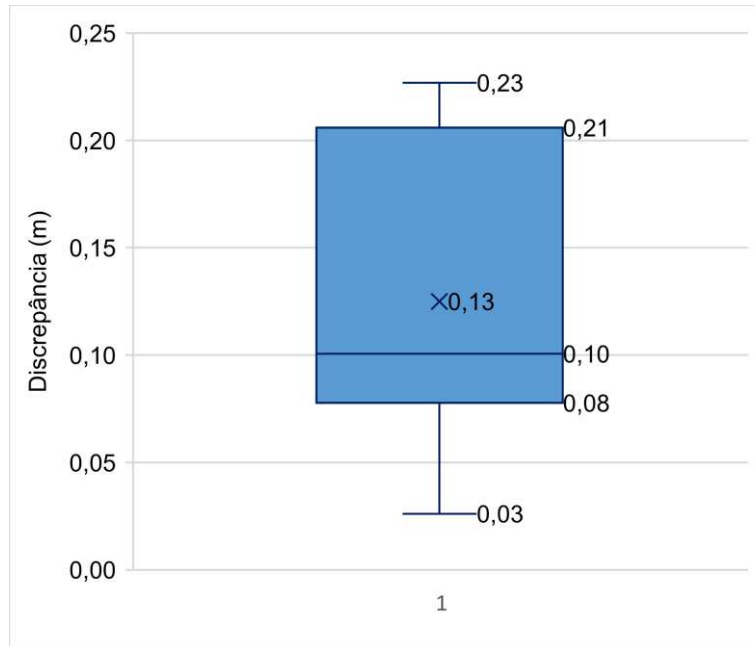


Figura 41– Gráfico do Boxplot obtidos dos resultados da ortofoto processada utilizando 15 pontos de controle.

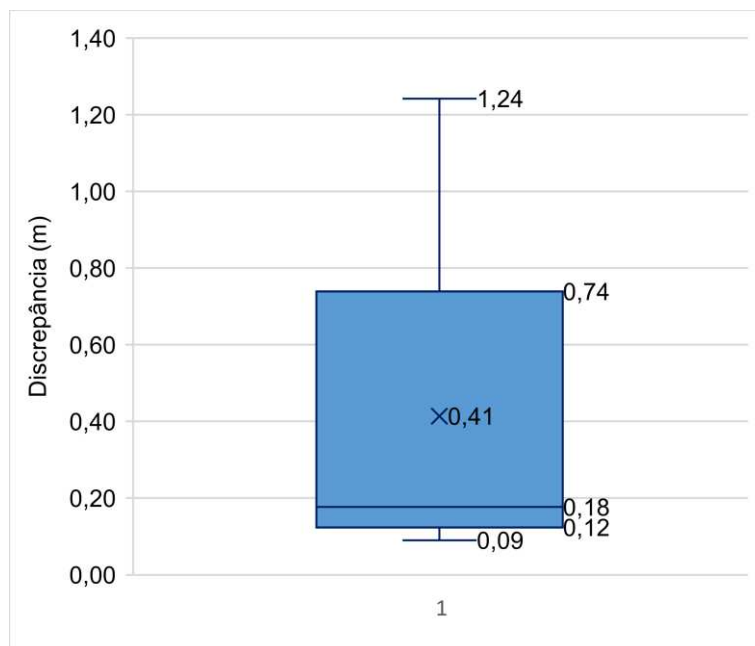


Figura 42– Gráfico do Boxplot obtidos dos resultados da ortofoto processada utilizando 15 pontos de controle agrupados.

Logo após foram realizados os testes de normalidade para as discrepâncias conforme a Tabela 8. Pode-se perceber que para o nível de confiança de 90% as amostras seguem a distribuição normal.

Tabela 8– Resultados do teste de normalidade Jarque-Bera para o nível de confiança de 90%.

Ortofoto	Valor Calculado	Valor Tabelado	Resultado
5_PC	1,206	2,00	Normal
10_PC	0,991	2,00	Normal
15_PC	0,912	2,00	Normal
15_PC_agrupados	1,300	2,00	Normal

* PC: pontos de controle.

Após a avaliação dos dados, constatou-se que a ortofoto gerada utilizando 15 pontos de controle enquadrou-se na Classe A para escala de 1:1.000, com média e RMS das discrepâncias em torno de 0,125 e 0,142 metros, respectivamente. Já as ortofotos geradas com 5 e 10 pontos de controle enquadraram na Classe B. A Tabela 9 apresenta as estatísticas básicas como a média, número de outliers e mediana. As Figuras 43 e 44 ilustram a avaliação do desvio padrão e do RMS das discrepâncias posicionais respectivamente.

Tabela 9- Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais planimétricas obtidas pelo método de feição linear.

Pontos de Controle	5	10	15	15 (agrupados)
Nº Outliers	0	0	0	0
Média (m)	0,217	0,162	0,125	0,414
Mediana	0,171	0,154	0,101	0,177
Máximo (m)	0,487	0,253	0,227	1,242
Mínimo (m)	0,049	0,083	0,026	0,090

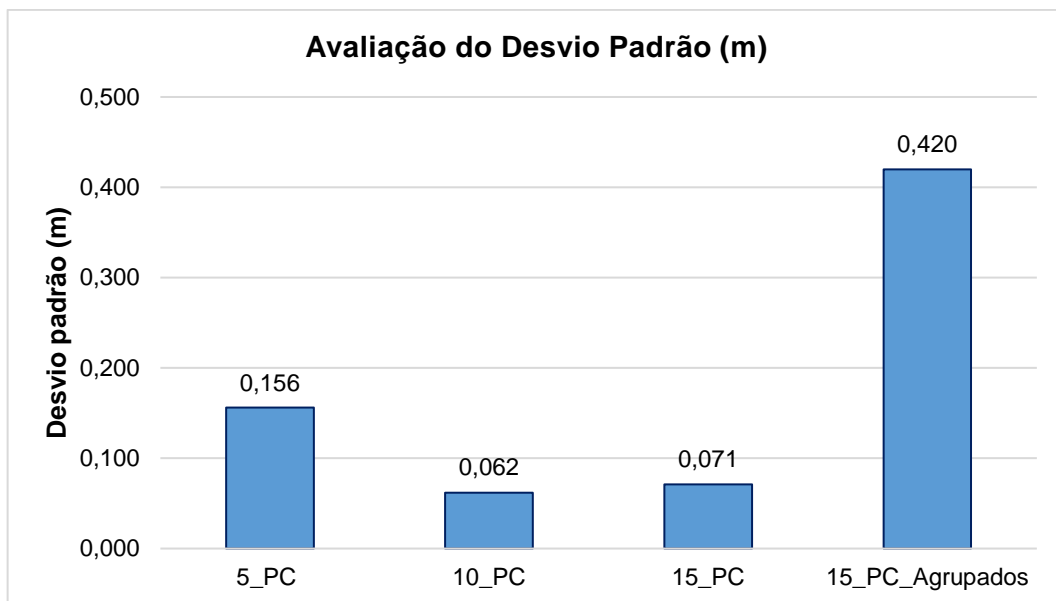


Figura 43– Gráfico da avaliação do desvio padrão obtido dos resultados das ortofotos processadas.

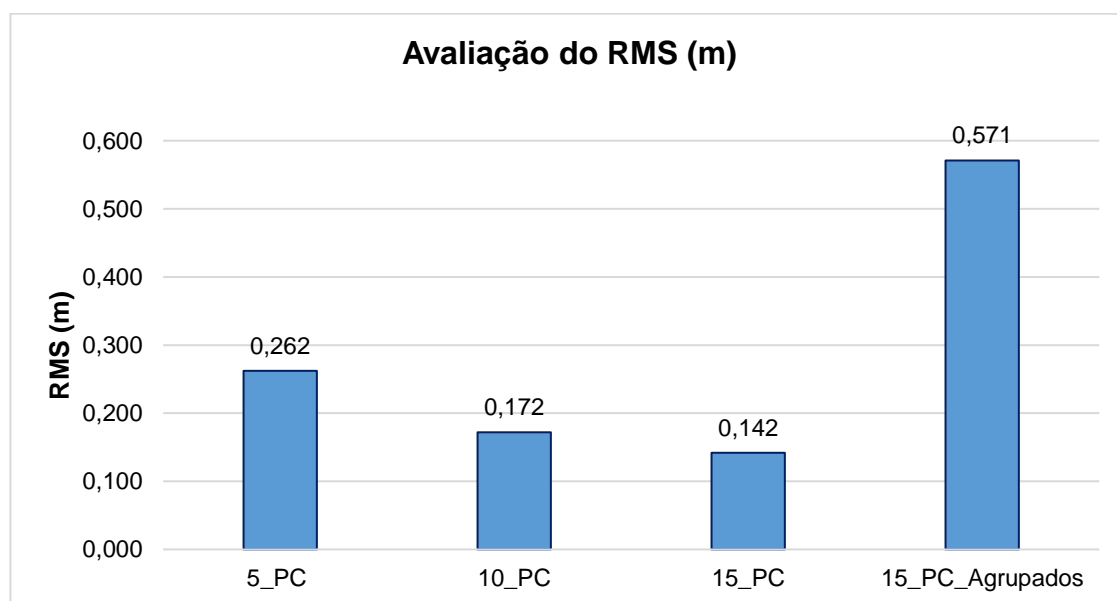


Figura 44– Gráfico da avaliação do RMS obtido dos resultados das ortofotos processadas.

O RMS é uma medida de acurácia, sendo importante para resumir quão é a grandeza da discrepância posicional em um produto cartográfico. De acordo com a Figura 44, nota-se que os valores do RMS diminuíram ao se aumentar o número de pontos de controle. O valor do RMS da ortofoto gerada com 5 pontos de controle foi de 0,262m, na ortofoto gerada com 10 pontos de controle o RMS foi de 0,172m e na ortofoto gerada com 15 pontos de controle verificou-se que o RMS diminui novamente para 0,142m. Ressalta-se que para avaliação da ortofoto gerada com 10 pontos de controle utilizando-se as tolerâncias da classe A, 90% das discrepâncias testadas

foram menores ao PEC. No entanto o RMS da amostra de discrepâncias testadas foi igual a 0,171m. Verifica-se assim que a ortofoto gerada com 10 pontos de controle está no limiar da aceitação na classe A.

A ortofoto gerada pelo processamento com 15 pontos de controle agrupados teve resultado inferior quando comparada com os pontos distribuídos por toda a área de estudo, apresentando classe D para escala 1:1.000 com RMS de 0,571m.

Foi estimada no presente trabalho a densidade média de 1 ponto de controle para cada 0,1Km², como suficiente para atender as necessidades do ajuste a ser realizado no processo de ortorretificação. Assim foi possível notar que quanto mais pontos de controle bem distribuídos na região, utilizados no processamento das fotos, melhor foram as análises da avaliação da acurácia posicional das ortofotos geradas. A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação do método de avaliação de feições lineares, junto ao padrão de acurácia posicional brasileiro, descrito no Decreto-lei nº89.817, aliada à ET-CQDG.

Tabela 10- Classificação da acurácia posicional da ortofotos, utilizando métodos de feição linear variando o número e a distribuição de pontos de controle, de acordo com decreto-lei 89.817/ET-CQDG, para a escala 1:1.000.

Pontos de Controle	5	10	15	15 (agrupados)
Classe - PEC-PCD				
1:1.000	B	B	A	D

A partir das ortofotos geradas foram selecionados os pontos iniciais e finais das feições de teste e das feições coletadas em campo. A partir destes pontos foi realizado a análise de tendência utilizando o teste t Student com nível de significância de 10%. Verificou-se a presença de tendência para os dados gerados no processamento com 5 e 10 pontos de controle e para os dados processado com 15 pontos de controle não apresentou tendência nos resultados. Já para os 15 pontos de controle agrupados apresentou tendência nos resultados conforme a Tabela 11.

Tabela 11– Resultados da análise de tendência - t Student.

Dados	5_PC	10_PC	15_PC	15_PC_agrupado
Nível de confiança	90%	90%	90%	90%
Amostra	16	16	16	16
T tabelado	1,753	1,753	1,753	1,753
Tx calculado	-0,316	-0,933	-0,408	3,07
Tendência em x	Não	Não	Não	Sim
Ty calculado	3,774	2,368	0,961	1,842
Tendência em y	Sim	Sim	Não	Sim
Dado espacial é Tendencioso?	Sim	Sim	Não	Sim

* PC: pontos de controle.

6.4. Extração de informação geográfica a partir da ortofoto

Neste trabalho a vetorização foi efetuada com o software ArcGis 10.3. Foram definidos para vetorização manual os seguintes planos de informação: edificações e estrada como podemos verificar na Figura 45. As Figuras 46, 47, 48 ilustram a vetorização das edificações e estradas em algumas regiões pertencentes a área de estudo.

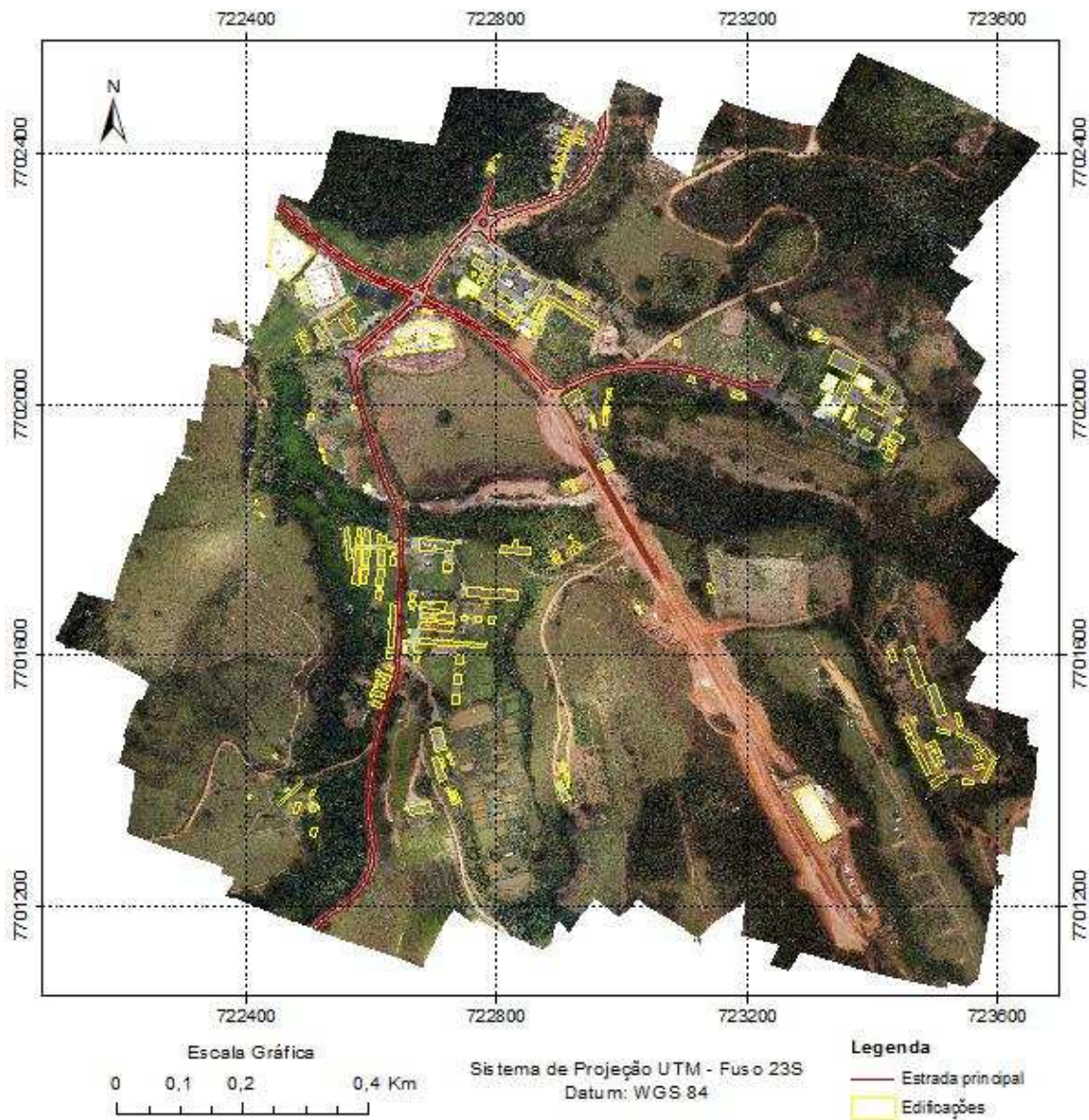


Figura 45– Mapa da vetorização manual de edificações e estrada presentes na área de estudo.



Figura 46– Vetorização manual de edificações e estrada presentes na área de estudo.



Figura 47-Vetorização manual de edificações presentes na área de estudo.



Figura 48- Vetorização manual de edificações e estrada presentes na área de estudo.



Figura 49- Vetorização manual de edificações e estrada presentes na área de estudo.

6.5. Atualização cadastral na área de estudo

A Figura 50 apresenta imagens do Google Earth do ano de 2013 (esquerda) e do ano de 2014 (direita), que foram comparadas com a imagens conforme a Figura 51, obtida pelo VANT no ano de 2015. Podem-se observar detalhes quanto a construção, bem como o incremento de estradas asfaltadas na região superior das imagens, nota-se também a reforma da piscina. Nota-se que na Figura 51 a qualidade da imagem é superior, assim como é claramente visível o nível de detalhamento das edificações, das faixas de pedestres e a presença de solo exposto.

Verifica-se que ocorreu na região de estudo mudanças significativas nos últimos anos. Assim, nota-se o quanto é importante um investimento na atualização de mapeamento cadastral, devendo-se aproveitar os benefícios que o VANT pode trazer para a realização de tal tarefa. Pretendeu-se mostrar que as informações geradas por meio deste método de atualização terão importância para o planejamento e desenvolvimento, permitindo avaliar de forma visual o nível de expansão na área de estudo.



Figura 50- Imagem do Google Earth do ano 2013 (esquerda) e do ano de 2014 (direita).



Figura 51- Imagem da ortofoto do ano 2015 (direita) e a mesma imagem à direita, dando foco na construção.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Entendendo que incorporar novas tecnologias deve ser um comportamento natural do profissional envolvido no levantamento de dados cadastrais, o principal objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade cartográfica das imagens VANT com diferentes números e distribuições de pontos de controle, de modo a verificar a influência dos mesmos. Os resultados foram obtidos em quatro abordagens para o processamento das fotos: com 5, 10 e 15 pontos de controles coletados em campos e distribuídos em toda a área de estudo e com 15 pontos de controle coletados em apenas uma região da área de estudo.

Verificou-se que a ortofoto gerada, a partir de pontos de controle agrupados, se mostrou com acurácia posicional inferior quando comparados com os demais testes, porém ainda obteve classificação de acordo com Decreto-lei 89.817/ET-CQDG para a escala 1:1.000. Entretanto, na análise de tendência, ficou constatado que a ortofoto não está livre de efeitos sistemáticos, ou seja, existem deslocamentos na direção Este e Norte. No entanto, conforme recomendam Santos et al. (2016), pode-se atuar nesta ortofoto aplicando uma translação para minimizar os efeitos sistemáticos, podendo ainda, melhorar a classificação do documento.

Constatou-se que a análise do padrão de distribuição espacial dos dados utilizando a técnica estatística da Função K, pode ser adotada com o objetivo de eliminar a subjetividade do produtor ao detectar como os dados estão distribuídos na área de estudo, conforme sugerem Santos et al. (2016).

De um modo geral, os resultados da avaliação das ortofotos apresentaram classificações, quanto ao Decreto-lei nº 89.817 / ET-CQDG para a escala 1:1.000. Ortofotos geradas com 5 e 10 pontos de controle obtiveram classe B e ortofoto gerada com 15 pontos de controle apresentou classe A, quando os pontos foram distribuídos aleatoriamente em toda a região de estudo. A ortofoto gerada com 15 pontos de controle selecionados de forma agrupada apresentou classe D para escala 1:1.000 e com presença de tendência.

A análise das células, teve como objetivo avaliar se a densidade de pontos de controle é a mesma em toda a área de estudo. Fato que se mostrou consistentemente positivo, tendo em vista que a melhor ortoretificação foi obtida com o maior número de pontos de controle (15 pontos) distribuídos em toda área de estudo. Nestas hipóteses a solução é distribuir pontos de controle e verificar a distribuição espacial para assim realizar o processamento das fotos e avaliar a acurácia posicional das ortofotos.

Diante dos resultados expostos ao longo deste trabalho, pode-se perceber que o objetivo de analisar a distribuição e o número dos pontos de controle foi alcançado. Verificou-se que a metodologia proposta para a coleta dos pontos de controle apresenta um significativo ganho com a abordagem do padrão de distribuição espacial dos pontos de controle.

Através da extração de informação da ortofoto gerada por fotos coletados por um VANT, verificou-se ser uma técnica muito promissora, pois além da agilidade e praticidade da operação, nota-se um alto nível de detalhes, permitindo a identificação nítida de edificações e estradas que podem servir como uma ferramenta para solucionar a questão da atualização cadastral, acompanhando o dinamismo da região.

Assim a partir dos resultados obtidos conclui-se que as ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT, podem colaborar no auxílio do Cadastro Territorial Multifinalitário de pequenas cidades sob o ponto de vista de eficiência, qualidade e viabilidade econômica. Deve ficar claro que cada plataforma aérea tem peculiaridades, cabendo aos usuários se adaptarem a mais adequada às suas necessidades. Cabe ressaltar, que limitações são encontradas em todos os modelos de VANT, no peso, altura, autonomia e distância, variando conforme as características de cada equipamento.

É importante salientar também que para a utilização das ortofotos geradas a partir de um levantamento VANT, quanto em qualquer tipo de mapeamento, deve-se sempre avaliar a acurácia posicional antes de sua utilização. Como recomendações para trabalhos futuros, têm-se:

- Estudar a influência do número e da distribuição de pontos de controle na análise da altimetria das ortofoto;
- Executar o processamento das fotos utilizando o agisoft modificando os parâmetros de processamento;
- Estudar os resultados de tendência obtidos na avaliação da qualidade posicional utilizando de feições lineares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, ANAC. Regulamento brasileiro da aviação civil especial RBAC-E nº94, Requisitos gerais para Veículos Aéreos Não Tripulados e Aeromodelos, 2015b. Disponível em:< <http://goo.gl/W2XrZY>> Acesso em: 10 Outubro de 2016.

ALMEIDA, I. C. Estudo sobre o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para mapeamento aéreo com fins de elaboração de projetos viários. Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2014.

ALVES JÚNIOR, L. R. Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um Veículo Aéreo Não Tripulado em áreas urbanas e rurais no Estado de Goiás. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2015.

ANDRADE, J. B. Fotogrametria. Curitiba: SBEE, 1998.

ANAC. Instrução Suplementar - IS nº 21-002. Portaria nº 2.031/SAR, de 4 de outubro de 2012. ANDRADE, J. B. Fotogrametria. Curitiba: SBEE, 1998.

ANAC - Agencia Nacional de Aviação Civil. Instrução suplementar - emissão de certificado de autorização de voo experimental para sistemas de veículo aéreo não tripulado. 2012.

ANTUNES, A. F. B. Cadastro Técnico Urbano e Rural. Curso de Engenharia Cartografica, 2007.

ARIZA, F. J. Calidad en la Producción Cartográfica. 1. ed. Madrid, Espanha: Editora RaMa, 2002a. 389p. ISBN 84-7897-524-1.

ASSIS, R. R. Utilização de Imagens Orbitais e Áreas no Estudo da Ocupação e Planejamento Urbano, Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002, 45p.

BHARDWAJ, A.; SAM, L.; AKANKSHA; JAVIER M. T.; RAJESH K. UAVs as remote sensing platform in glaciology: Present applications and future prospects. *Remote Sensing of Environment*, 175, 196–204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.029> (In Press).

BLACHUT. T.J. Cadastre as a basis of general land inventory of the country: in *Cadastre: Functions, characteristics, techniques and planning of a land record system*. Canadá, National Council, 1974. p. 01-21.

BRASIL, Decreto nº89.817 de junho de 1984 - Normas Técnicas da Cartografia Nacional, Diário Oficial da União, Brasília, Brasil, 1984.

BRASIL – Ministério das Cidades. Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros. Portaria nº 511, de 07 de dezembro de 2009.

CINTRA, J. P.; NERO, M. A. Metodologia para controle de qualidade de mapeamentos sistemáticos em meio digital . *Anais do XXII Congresso Brasileiro de Cartografia*, Macaé, RJ, 2005a.

COELHO, L.; BRITO, J. N. *Fotogrametria digital*. Ed. UERJ. 2007. 196 p.

COLOMINA, I.; MOLNA, P.. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v.92, p.79-97, 2014.

COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA (CONCAR). *Planejamento Estratégico 2005*. Disponível em <<http://www.concar.ibge.gov.br/planejEstrategico.aspx>>. Acesso em 15 de janeiro de 2017.

CRUZ, C. B. M.; Barros, R. S.; Cardoso, F. V.; Reis, F. B.; Rosário, L. S.; Barbosa, S. S.; Rabaco, L. M. L.; Lourenço, J. S. Q. Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba: INPE 2011. p. 5463, 2011.

DAWSON, R. How Significant Is A Boxplot Outlier . Journal of Statistics Education, v. 19, n. 2, p. 1–13, 2011.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO, DECEA. Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro. ICA-100-40. 2015a. Disponível em: < <http://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4262> > Acesso em: 10 Outubro de 2016.

DOD. Unmanned aircraft systems roadmap – 2005-2030. Office of the Secretary of Defense, 2005.

EISENBEISS, H. UAV Photogrammetry. Doctor of sciences, University of Technology Dresden, Germany, 2009.

ESRI, ArcGIS Resource Center. Disponível em: < <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=welcome> > Acesso em: 22 Outubro de 2016.

ERBA, D. A.. Cadastro multifinalitário como instrumento de política fiscal e urbana. Rio de Janeiro, 2005. Ministerio das cidades.

FELGUEIRAS, C.A. Apostila do curso de Modelagem Digital de Terreno e aplicações. São José dos Campos: INPE, 1997. 48 p.

FELGUEIRAS, C. A. “Modelagem Numérica de Terreno”. In: CÂMARA, G. & MEDEIROS, J. S. (eds.). “Geoprocessamento para Projetos Ambientais”. São José dos Campos: INPE, 1998. cap. 4, p. 4-1 – 4-38.

FELICÍSIMO, A. M. Modelos digitais del terreno. Oviedo: Pentalfa, 1994.

FERREIRA, A.M.R. Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado-vant, para uso em aerolevanteamento, 93p. Tese de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Brasília, 2014.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, p. 41-48, 1994.

GEMAEL, C. Introdução ao ajustamento de observações, aplicações geodésicas, Editora UFPR, Curitiba, PR, 1994.

GOODCHILD, M. F.; HUNTER, G. J. A simple positional accuracy measure for line features. In: International Journal of Geographical Information Science, 11:3, 299-306, 1997.

GRIPP JR, Joel. Ortorretificação de imagens de alta resolução para aplicação no cadastro técnico rural e mapeamento de área de preservação permanente e reservas legais. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2009.

GRIPP Jr., J.; SILVA, A. S.; VIEIRA, C. A. O. Cadastro Técnico Municipal de Cidades de Pequeno Porte. VIÇOSA: UFVGEIO, 2002.

HABIB, A.; GHANMA, M.; MITISHITA, E. A. Co-registration of photogrammetric and LIDAR data: Methodology and case study. Revista Brasileira de Cartografia, v. 56, n. 1, p. 1-13, 2004.

HU, Y.; TAO, V.; CROITURU, A. Understanding the rational function model: methods and applications. In: International archives of photogrammetry and remote sensing, 20, 2004, Istanbul, Turquia.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p.

LINHARES, M. M. A. Uso de veículo aéreo não tripulado na determinação de índice de vegetação em área de pastagem em Nova Mutum-MT. 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

LIMA, E. M.; THOMAZ, T. A. M.; SEVERO, T. C. Mapeamento aerofotogramétrico digital utilizando fotografias de médio formato. Monografia (Graduação em Engenharia Cartográfica) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

LOCH, C. Modernização do Poder Público Municipal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 1998, Florianópolis. UFSC, 1998.

LONGHITANO, George Alfredo. Vants para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 2010. 148 f.

LOPES, J.M.M.S.A. Fotogrametria e Detecção Remota Aplicada à Prospeção Mineira. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2015.

LUZ, C. C.; ANTUNES, A. F. B. . Validação da tecnologia VANT na utilização de bases de dados cartográficos geológicos - Estudo de caso: Sistema Cárstico do Rio João Rodrigues. RBC. Revista Brasileira de Cartografia (Online) , v. 67, p. 1439-1452, 2015.

MEDEIROS, N. G. Orientação exterior de imagens orbitais usando modelos rigorosos com feições retas. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual do Estado de São Paulo-UNESP, Presidente Prudente, 2007.

MEDEIROS, F. A. Desenvolvimento de um veículo aéreo não-tripulado para aplicação em agricultura de precisão. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

MERCHANT, D. C. Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps. In Proceedings of the Technical Congress on Surveying and Mapping (1), 222-231, 1982.

MONICO, J.F.G, Dal Poz, A.L., Galo, M., Santos, M.C, and Oliveira, L.C. “Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada.” Boletim de Ciências Geodésicas 15, 2009.

MOZAS, A. T.; ARIZA F. J. New Method for Positional Quality Control in Cartography Based on Lines. A Comparative Study of Methodologies. International Journal of Geographical Information Science 25 (10). Taylor & Francis: 1681–95. 2011.

NASA. Earth Observations and the Role of UAVs. 2006

NERO, M. A. Estudo comparativo de metodologias de digitalização de mapas e seu controle de qualidade geométrica. Dissertação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, 2000. 233p.

PALERMO, R. A.; LEITE, T. C. Integração de levantamento fotogramétrico aéreo com uso de VANT e levantamento fotogramétrico terrestre para o mapeamento tridimensional das ruínas de São Miguel das Missões. Projeto Cartográfico. Curso de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

PASQUALI, L. Introdução à Estatística Inferencial. Edição em 03/05/2006. Disponível em: <<http://www.psi-ambiental.net/pdf/PasqCap04.pdf>>. Acesso em 30 de outubro de 2015.

PASQUALI, L. A Curva Normal. Edição em 03/05/2006. Disponível em: <<http://www.psiambiental.net/pdf/PasqCap03.pdf>> Acesso em 30 de outubro de 2015.

PATIAS, P. 2001. Photogrammetry and Visualization Technical Report, ETH Zurich. Disponível em: <>. Acessado em: 12 de agosto de 2016.

PCI Geomatics Inc. Geomatica Software Solutions. OrthoEngine: User guide. Canada, 2010.

PEGORARO, A. J. Estudo do potencial de um veículo aéreo não tripulado/ quadrotor, como plataforma na obtenção de dados cadastrais. Tese do doutorado, Santa Maria, 2013.

PEREIRA, O. j., & TAMAMARU, R. Geração de modelos digitais de elevação com base em técnicas de estereoscopia digital, por meio de imagens VANT: Subsídio a identificação de manchas de desmatamento em áreas de preservação permanente. Foz do Iguaçu: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto – SBSR, 2013.

PIANA, C. F. B.; MACHADO, A. A.; SELAU, L. P. R. Estatística Básica. Instituto de Física e Matemática. Departamento de Matemática e Estatística – Universidade Federal de Pelotas. Edição em 30/09/2009. Disponível em: <http://www.energiapura.net.br/alunos/planejamento_experimentos/Aulas_PAE/aula1_PAE/Apostila_EB.pdf> Acessado em: 12 de agosto de 2016.

RAZALI, N. M., & WAH, Y. B. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21-33, 2011. Disponível em:

<http://www.researchgate.net/profile/Bee_Yap/publication/267205556_Power_comparisons_of_Shapiro-Wilk_Kolmogorov_Smirnov_Lilliefors_and_AndersonDarling_tests/links/5477245b0cf29afed61446e1.pdf>
>Acesso em 28 de outubro de 2015.

RPAV. Remote Piloted Aerial Vehicles: Na Anthology. 2003. Disponível em: <http://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav_home.html>. Acesso em 1 de outubro de 2015.

ROBBI, C. Atualização Cartográfica, In: Io Seminário Paranaense de Cadastro Técnico e Planejamento Municipal. Anais, Curitiba, 1990, p.65-73.

RODRIGUES, D.D. Topografia : Planimetria para engenheiros agrimensores e cartógrafos. (em desenvolvimento). Apostila. Universidade Federal de Viçosa. 2008.

SANTOS, T.; FREIRE, S.; FONSECA A.; TENEDORIO, J.A. Detecção de alterações em meio urbano baseada na comparação de elementos extraídos a partir de imagens de alta resolução espacial. Aplicação à área da Alta de Lisboa. XII Cólóquio Iberico de Geografia. Porto - Portugal, 2010.

SANTOS, A. P. Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com Uso da Estatística Espacial (Viçosa, MG). Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

SANTOS, A. P. Controle de Qualidade Cartográfica: metodologias para avaliação da acurácia posicional em dados espaciais. 2015. 172f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil / Informações Espaciais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JR, J. Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira. *Boletim de Ciências Geodésicas (Online)*, v. 22/4. 2016.

SATO, S.S. Sistema de controle de qualidade dos processos fotogramétricos digitais para produção de dados espaciais. 2003. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SCHWERTMAN, N. C.; OWENS, M. A.; ADNAN, R. A simple more general boxplot method for identifying outliers. *Computational Statistics and Data Analysis*, v. 47, n. 1, p. 165–174, 2004.

TVEITE, H.; LANGAAS, S. An accuracy assessment method for geographical line data sets based on buffering. *Int. Journal Geographical Information Science*. Vol. 13,nº1, pp.27-47, 1999.

TOUTIN, T.; Review article: geometric processing of remote sensing images: models, Algorithms and Methods. *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, n. 10, p. 1893-1924, May 2004.

VIANA, C. D. Análise estrutural de descontinuidades baseada em técnicas de structure from motion : aplicação em mina a céu aberto - Tese (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

WOLF, P.R.; DEWITT, B.A. *Elements of Fotogrammetry: with Application in GIS*. 3rd edition. USA: McGraw-Hill, 2004.

WONG, D.W.S., LEE, J. *Statistical analysis of geographic information with ArcView GIS and ArcGIS*. Editora John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2005.

WESTOBY M.J., BRASINGTON J., GLASSER N.F., HAMBREY M.J., REYNOLDS J.M. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications *Geomorphology*, 179: 300-314, 2012.

XMOBOTS. Visão Geral do Nauru 500A e do Echar 20A. Disponível em: <http://www.xmrobots.com/Versions/BR/Sistemas/VANT/Nauru500A/Nauru_VisaoGer al.html>. Acesso em: 10 de outubro. 2015.

ZANARDI, R. P. Geração de Modelo Digital de Terreno a Partir de Par Estereoscópico do Sensor CCD do satélite CBERS-2 e Controle de Qualidade das Informações

Altimétricas. 2006. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.